



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH VARIASI ARUS *CONTINOUS CURRENT*, *PULSED CURRENT*, DAN *FLOWRATE* GAS PELINDUNG ARGON TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN CuNi 90/10 DENGAN METODE *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)***

Priagung Surya Binathara

NRP 02511440000074

Dosen Pembimbing

Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**PENGARUH VARIASI ARUS *CONTINUOUS CURRENT, PULSED CURRENT* DAN *FLOWRATE GAS PELINDUNG ARGON* PADA PENGELASAN CUNI 90/10 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN DENGAN METODE *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)***

**PRIAGUNG SURYA BINATHARA  
NRP. 02511440000074**

**Dosen Pembimbing  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

**EFFECT OF CONTINUOUS CURRENT, PULSED  
CURRENT ARC WELDING AND FLOWRATE OF  
SHIELD GAS VARIATION OF TIG WELDING ON  
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CuNi  
90/10 BY TUNGSTEN INERT GAS METHOD (TIG)**

**PRIAGUNG SURYA BINATHARA  
NRP. 02511440000074**

**Advisors**

**Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

**Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**Materials Engineering Departement  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**PRIAGUNG SURYA BINATHARA**

NRP 02511440000074

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. .... (Pembimbing I)

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



# **PENGARUH VARIASI ARUS *CONTINUOUS CURRENT, PULSED CURRENT* DAN *FLOWRATE* GAS PELINDUNG ARGON PADA PENGELASAN CUNI 90/10 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN DENGAN METODE *TUNGSTEN INERT GAS* (TIG)**

**Nama Mahasiswa** : Priagung Surya Binathara  
**NRP** : 02511440000074  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing I** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.  
**Dosen Pembimbing II** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Paduan Tembaga-Nikel Material 90/10 CuNi merupakan salah satu material utama pemakaiannya di bidang kemaritiman, karena sifatnya yang tahan terhadap korosi baik. Paduan ini dapat disambung dengan metode las TIG. Penelitian pengelasan ini dilakukan dengan metode TIG dengan parameter variasi arus continous current 100 Ampere, pulsed current 3 Hz, pulsed current 5 Hz dan flowrate gas pelindung argon 8 L/menit 12 L/menit, dan 16 L/menit/ Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji makro, uji komposisi kimia, uji XRD, uji mikro, dan uji kekerasan menggunakan Microvickers. Dari hasil peneltian dapatkan fasa yang terbentuk setelah pengelasan adalah  $\alpha$ Cu. Struktur mikro yang terbentuk pada bagian weld metal adalah dendritik sedangkan pada bagian base metal adalah poligonal. Seiring meningkatnya flowrate gas pelindung argon, kekerasan semakin meningkat, dan pengelasan menggunakan arus pulsed current memiliki kekerasan lebih tinggi jika dibandingkan dengan arus continous current. Nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada pengelasan variasi arus pulsed current 5 Hz dan flowrate gas pelindung argon 16 L/menit dengan nilai kekerasan 118 HV*

**Kata Kunci** : CuNi 90/10, TIG, Pulsed Current, Flowrate

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **EFFECT OF CONTINUOUS CURRENT PULSED, CURRENT ARC WELDING, AND FLOWRATE OF SHIELD GAS VARIATION OF TIG WELDING ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CuNi 90/10 BY TUNGSTEN INERT GAS METHOD (TIG)**

**Name** : Priagung Surya Binathara  
**NRP** : 02511440000074  
**Department** : Material Engineering  
**Advisor 1** : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.  
**Advisor 2** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

*Copper-Nickel alloy of 90/10 CuNi is one of the main material that used in maritime aspect,. because it has good corrosion resistance. This alloy can be joined by TIG method welding. But, there are problems because of welding parameter that not suitable with the material.. This study was conducted using continuous current 100 Ampere, 3 Hz pulsed current, and 5 Hz pulsed current with flowrate of shielding gas are 8 L/minutes, 12 L/minutes, and 16 L/minutes. There are several such observations Macroscopy testing, chemical composition testing, XRD testing, microstructure testing, and hardness testing result to support this study. After all of specimens tested, the phase form that formed in weld metal section is  $\alpha$ Cu and the shape of microstructure is dendritic. The microstructure shape that formed in base metal is polygonal. The number of Hardness increases as it increases of flowrate gas shielding, and the result of welding process with pulsed current arc welding has higher hardness number than the result of welding with continuous current. The highest number of hardness in this study is the welding process with 5 Hz pulsed arc current and 16 L/minutes flowrate gas shielding by 118 HV.*

**Keywords** : CuNi 90/10, TIG, Continuous Current, Pulsed Current, Flowrate

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul **“PENGARUH VARIASI ARUS *CONTINUOUS CURRENT*, *PULSED CURRENT*, DAN *FLOWRATE* GAS PELINDUNG ARGON TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGELASAN CUNI 90/10 DENGAN METODE *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)*”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan kakak penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moriil dan materiil, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi kepada penulis.
2. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. dan Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada Bapak Sigit Budi Raharjo S.T. dan seluruh pegawai PT PAL Indonesia yang telah berkenan memberikan waktu luangnya untuk berdiskusi dan membantu pengerjaan tugas akhir penulis.

4. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 8 Juli 2018  
Penulis,

Priagung Surya Binathara  
02511440000074

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pipa Air Laut Kapal .....	5
2.2 Tembaga .....	8
2.3 Nikel .....	11
2.4 Paduan Tembaga-Nikel .....	15
2.5 90/10 Copper Nickel Alloy .....	21
2.6 Pengelasan .....	25
2.7 Parameter Pengelasan .....	28
2.8 Pengelasan GTAW .....	29
2.9 Filler Metal .....	32
2.10 Gas Pelindung .....	33
2.11 <i>Continuous Current TIG</i> .....	33
2.12 <i>Pulsed Current TIG</i> .....	34
2.13 Cacat Pada Lasan .....	35
2.14 Uji Kekerasan .....	44
2.15 Penelitian Sebelumnya .....	45
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	63
3.2 Rancangan Penelitian .....	64

3.3 Parameter Pengelasan.....	66
3.4 Metode Penelitian.....	67
3.5 Bahan Penelitian.....	67
3.6 Peralatan Penelitian .....	68
3.7 Tahapan Penelitian .....	73
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Proses Hasil Visual Makro Pengelasan Material CuNi 90/10 .....	81
4.2 Hasil Pengujian Komposisi Spesimen Pengujian Pengelasan.....	89
4.3 Hasil Pengujian XRD .....	90
4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro .....	92
4.5 Hasil Pengujian Kekerasan.....	106
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	111
5.2 Saran .....	111
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal Tembaga FCC (Evehart, 1971)	9
Gambar 2.2 Kristal Nikel (Evehart, 1971)	11
Gambar 2.3 Diagram Fasa Tembaga Nikel (Schleich, 2006)	17
Gambar 2.4 Ikatan Substisional dan Intertitial (Callister, 2007)	19
Gambar 2.5 Solidifikasi paduan Tembaga-Nikel (Rhines, 1956)	19
Gambar 2.6 Hubungan Antara Laju Alir Fluida Terhadap Kemungkinan Terjadi Impingement Attack	21
Gambar 2.7 Arah Pembekuan dari Logam Las	26
Gambar 2.8 Siklus Termal Las pada Beberapa Jarak dari Batas Las (20 mm ; 170 A; 15,2 cm/menit)	26
Gambar 2.9 Prinsip pengelasan TIG	30
Elektroda Tungsten b.) Filler metal c.) Busur las d.) gas pelindung e.) Benda kerja	31
Gambar 2.10 Grafik Dari Parameter Arus <i>Continuous Current TIG</i>	33
Gambar 2.11 Grafik Dari Parameter Arus <i>Pulsed Current TIG</i>	34
Gambar 2.12 Cacat Porositas pada Logam Las	36
Gambar 2.13 Beberapa Contoh Retak Dingin	36

Gambar 2.14 Beberapa Contoh Retak Panas .....	37
Gambar 2.15 Cacat Las <i>Slag Inclusion</i> .....	38
Gambar 2.16 Cacat Las <i>Incomplete Fusion</i> .....	38
Gambar 2.17 Ilustrasi <i>Overlap</i> .....	39
Gambar 2.18 Ilustrasi <i>Excessive Penetration</i> .....	40
Gambar 2.19 Bentuk Dari <i>Crater</i> .....	41
Gambar 2.20 <i>Lack of Penetration</i> .....	42
Gambar 2.21 a.) <i>Linear Misalignment</i> b.) <i>Angular Misalignment</i> .....	42
Gambar 2.22 Indentor Pengujian <i>Vickers</i> (ASTM,1999)	43
Gambar 2.23 Perbandingan Kuat Tarik Sambungan Las dengan Kondisi Normal dan Kondisi Cacat .....	45
Gambar 2.24 Struktur mikro <i>Weld Metal</i> pengelasan 28 volt debit 12 liter/menit, 25 volt 15 liter/menit, dan 25 volt 18 liter/menit .....	47
Gambar 2.25 Struktur mikro HAZ pengelasan 28 volt debit 12 liter/menit, 25 volt 15 liter/menit, dan 25 volt 18 liter/menit .....	48
Gambar 2.26 Mikrostruktur dari <i>weld metal</i> paduan CuNi 70/30 a.) CC b.) PC 1 HZ c.) PC 5 HZ .....	49
Gambar 2.27 Profil <i>microhardness</i> dari <i>weldzone</i> material CuNi 70/30 dengan perbedaan <i>Pulse Frequency</i> (1 Hz, 3 Hz, 5 Hz), dan <i>Continuous Current</i> .....	51



Gambar 2.28 Profil Kekuatan Tarik dari Material Las CuNi 70/30 dengan Metode <i>Pulsed Current</i> dan <i>Continuous Current</i> .....	52
Gambar 2.29 Pembagian Daerah Hasil Las.....	53
Gambar 2.30Perbesaran Gambar <i>weld bead</i> dan <i>melt zone</i>	54
Gambar 2.31 Scanning Electron Mikrografi dari <i>weld bead</i> , <i>melt zone</i> , dan <i>first brown zone</i> .....	55
Gambar 2.32 Mikrostruktur Permukaan di <i>Melt zone</i> .....	55
Gambar 2.33 a. Potongan melintang di <i>melt zone</i> , menunjukkan ketebalan dari lapisan permukaan. b. EDS dot map untuk Tembaga c. EDS dot map untuk nikel .....	56
Gambar 2.34 Potongan melintang potongan external dari <i>Butt Weld</i> .....	57
Gambar 2.35 Mikrostruktur permukaan diantara <i>melt zone</i> dan <i>first brown zone</i> .....	58
Gambar 2.36 Mikrostruktur permukaan dari <i>first brown</i> <i>zone</i> .....	58
Gambar 2.37 struktur permukaan di <i>black zone</i> .....	59
Gambar 2.38 Struktur Mikro Pemukaan Second Brown Zone .....	59
Gambar 2.39 Struktur Mikro <i>Burnished Area</i> diluar <i>second</i> <i>brown zone</i>	
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	63

Gambar 3.2 Mesin Las GTAW .....	68
Gambar 3. 3 Cut Off Machine .....	68
Gambar 3. 4 Penggaris .....	69
Gambar 3.5 Kamera Saku .....	69
Gambar 3.6 Kertas Amplas .....	70
Gambar 3.7 Mesin Metal Polish .....	70
Gambar 3.8 Metal Polish merek Autosol .....	71
Gambar 3.9 Mikroskop Optik .....	71
Gambar 3.10 Mesin Uji Microhardness .....	72
Gambar 3.11 Alat X-Ray Diffraction .....	72
Gambar 3.12 Ukuran Pipa.....	73
Gambar 3.13 Desain Pengelasan Spesimen .....	73
Gambar 3. 14 Prinsip Kerja XRF (Patty, 2013).....	75
Gambar 3.15 Panalytical Minipal 4 (Patty, 2013).....	76
Gambar 3.16 Arah Cahaya Pada Pengujian Metalografi	79
Gambar 4.1 Hasil Foto Makro Pengelasan CuNi 90/10	
a.) FG 8 – CC   b.) FG 8 - PC 3   c.) FG 8 - PC 5	81

Gambar 4.2 Hasil Foto Makro Pengelasan CuNi 90/10 a.) FG 12 - CC b.) FG 12 - PC 3 c.) FG 12 - PC 5 ...	83
Gambar 4.3 Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi 90/10 (a.) FG 16 – CC (b.) FG 16 - PC 3 (c.)FG 16 - PC 5 .....	84
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Flowrate Gas Pelindung Argon Terhadap Luasan <i>Weld Metal</i> .....	87
Gambar 4.5 Pola XRD pada Setiap Bagian Lasan .....	90
Gambar 4.6 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG8 Dengan Perbesaran 100 kali (a) <i>Weld Metal</i> (b) <i>Fusion Line</i> (c) <i>Base Metal</i> ...	92
Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Struktur mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG12 Dengan Perbesaran 10x (a) <i>Weld Metal</i> (b) <i>Fusion Line</i> (c) <i>Base Metal</i> .....	93
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG16 Persebaran (a) <i>Weld Metal</i> (b) <i>Fusion Line</i> (c) <i>Base Metal</i> .....	94
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC3 - FG8 Dengan Perbesaran 10x (a) <i>Weld Metal</i> (b) <i>Fusion Line</i> (c) <i>Base Metal</i> .....	95
Gambar 4. 10 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC3 - FG12 Dengan Perbesaran (a) <i>Weld Metal</i> (b) <i>Fusion Line</i> (c) <i>Base Metal</i> .....	96

Gambar 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan  
CuNi 90/10 PC3 - 16 Dengan Perbesaran 10x (a)  
*Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal* ..... 97

Gambar 4.12 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan  
CuNi 90/10 PC5 - FG8 Dengan Perbesaran 10x (a)  
*Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal* ..... 98

Gambar 4.13 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan  
CuNi 90/10 PC5 - FG12 Dengan Perbesaran 10x (a)  
*Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal* ..... 99

Gambar 4.14 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan  
CuNi 90/10 PC5 - FG16 Dengan Perbesaran 10x (a)  
*Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal* ..... 100

Gambar 4.15 Perbandingan Diameter Pada *Weld Metal*. 104

Gambar 4.16 Nilai Kekerasan pada Daerah *Weld Metal* 104

Gambar 4.17 Nilai Kekerasan pada Daerah *Fusion Zone*  
..... 107

Gambar 4.18 Nilai kekerasan Pada Daerah *Base Metal* . 107

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Dari Sifat Berbagai Material Pipa (CDA, 1986).....	6
Tabel 2. 2 Klasifikasi Wrought Copper (ASM Internasional, 2001).....	10
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Nikel Murni (Evehart, 1971).....	13
Tabel 2.4 Sifat Fisik dari Nikel (Evehart, 1971).....	14
Tabel 2.5 Unsur kandungan tembaga nikel (Evehart, 1971)...	15
Tabel 2.6 Physical Properties Dari Tembaga Nikel (Evehart, 1971).....	16
Tabel 2.7 Desain Laju Alir Maksimal di beberapa Material ...	22
Tabel 2.8 Komposisi Elektroda untuk CuNi 90/10.....	31
Tabel 2.9 Sifat Mekanik Elektroda untuk CuNi 90/10 .....	31
Tabel 2.10 Micro Hardness dibagian weldzone.....	50
Tabel 2.11 Sifat Mekanik Kekuatan dari material pengelasan CuNi 70/30.....	51
Tabel 2.12 Persentase Unsur berdasarkan Hasil EDS.....	54
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian .....	63
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian .....	64
Tabel 3.3 Parameter Pengelasan.....	65
Tabel 3.4 Komposisi Cu Ini C70600 atau ekuivalen (AWS, 2012) .....	67
Tabel 3.5 Sifat Mekanik Cu Ni (AWS,2012) .....	67
Tabel 3.6 Dimensi Pipa Cu Ni C70600 .....	67
Tabel 3.7 Komposisi Filler ER CuNi (AWS, 2012 ) .....	67
Tabel 3.8 Sifat Mekanik Filler ER CuNi (AWS, 2012 ) .....	67
Tabel 4.1 Hasil Pengukururan Pada Weld Metal Pengelasan CuNi 90/10 .....	86
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi Spesimen Pengujian Pengelasan .....	88
Tabel 4.3 Komposisi Filler Metal ERCuNi .....	89
Tabel 4.4 Perhitungan Butir Metode Jeffries .....	104
Tabel 4.5 Hasil Pengujian kekerasan Cu Ni 90/10 dengan filler 70/30 .....	106

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara maritim yang sebagian besar daerahnya adalah pulau-pulau yang dipisahkan oleh lautan. Luas Laut Indonesia adalah 5,8 juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari 300 ribu km<sup>2</sup> daerah teritorial perairan dalam, kepulauan seluas 2,8 juta km<sup>2</sup>, dan Zona Ekonomi Eksklusif seluas 2,7 juta km<sup>2</sup> dengan total jumlah pulau di Indonesia adalah 17.500 pulau. Dengan keadaan geografis dan oceanografis Indonesia yang sebagian besar adalah laut, dibutuhkan moda transportasi laut yang ekonomis dan efektif yang dapat menghubungkan antar pulau dari ujung barat hingga ujung timur Indonesia. Dengan Laut Indonesia yang luas dan memiliki beribu pulau, maka banyak pula ancaman bagi pertahanan dan keamanan Indonesia. sehingga Industri perkapalan merupakan salah satu industri yang memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia dan juga sebagai utilitas utama alat pertahanan negara.

Berdasarkan data Kemenperin tahun 2017, jumlah galangan kapal di Indonesia saat ini berjumlah 250 yang sebagian besar berskala kecil dan 4 unit milik pemerintah, salah satu diantaranya adalah PT. PAL Indonesia yang berada di kota Surabaya. PT. PAL adalah salah satu industri di Indonesia yang memproduksi kapal niaga dan juga kapal perang. Salah satu produk dari kapal perang adalah kapal selam yang menggunakan material paduan Cu-Ni pada bagian sistem perpipaannya. Material Cu-Ni dipilih karena sifatnya yang tahan terhadap korosi baik, serta nikel (Ni) yang cukup kuat, maka paduan tembaga-nikel (Cu-Ni) menjadi salah satu material utama yang digunakan untuk perpipaan laut Proses penyambungan Cu-Ni tersebut adalah dengan proses pengelasan metode GTAW dan atau SMAW. Namun paramater yang digunakan untuk mengelas Cu-Ni di PT. PAL tersebut terdapat cacat porositas walaupun sudah menggunakan parameter yang dibuat. Cacat porositas ini sangat merugikan karena menurunkan





sifat mekanik material, sehingga masih harus dilakukan perbaikan setelah pengelasan. Untuk itu, penulis melakukan penelitian parameter yang tepat agar cacat bisa diminimalisir sehingga bisa meminimalkan terjadinya kegagalan material.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Alfian Wahyu dkk, variasi pada tegangan dan laju alir gas pelindung memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro yang diperoleh dari hasil lasan. Oleh karena itu diperlukan parameter pengelasan yang sesuai alam pengelasan dengan metode TIG untuk mengurangi adanya cacat las diatas serta didapat sifat mekanik yang lebih baik. Perbedaan metode pengelasan dengan arus kontinu (*Continuous Current*) dan arus berdenyut (*Pulsed Current*) serta laju alir gas merupakan parameter las yang penting dan diduga mampu mengurangi adanya cacat las, sehingga parameter las ini duji pada penelitian ini.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam pengelasan material 90/10 CuNi diantaranya adalah :

1. Bagaimana pengaruh arus kontinu (*Continuous Current*), arus berdenyut (*Pulsed Current*) dan laju alir gas pelindung terhadap struktur mikro pada hasil las 90/10 CuNi dengan menggunakan metode las TIG?
2. Bagaimana pengaruh arus kontinu (*Continuous Current*), arus berdenyut (*Pulsed Current*), dan laju alir gas pelindung terhadap sifat mekanik pada hasil las 90/10 CuNi dengan menggunakan metode las TIG?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan dianggap homogen
2. Jarak pengelasan dianggap konstan
3. Kecepatan lasan dianggap konstan
4. Komposisi filler sesuai dengan spesifikasi komersial



- 
5. Voltase pengelasan dianggap konstan
  6. Sudut pengelasan dianggap konstan
  7. Permukaan hasil preparasi dan pembersihan sebelum proses pengelasan dianggap konstan

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisa pengaruh variasi arus arus kontinu (*Continuous Current*), arus berdenyut (*Pulsed Current*) dan laju alir gas pelindung terhadap struktur mikro hasil las 90/10 CuNi dengan menggunakan metode las TIG
2. Menganalisa pengaruh variasi arus arus kontinu (*Continuous Current*), arus berdenyut (*Pulsed Current*) dan laju alir gas pelindung terhadap sifat mekanik hasil las 90/10 CuNi dengan menggunakan metode las TIG

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menjadi referensi dalam memprediksi parameter las yang baik untuk pengelasan material 90/10 CuNi dengan metode TIG untuk meminimalisir terjadinya cacat las, menghasilkan las yang baik, serta pengembangan lain dalam bidang teknologi pengelasan di masa mendatang.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pipa Air Laut Kapal**

Sistem perpipaan pada kapal adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengalirkan suatu fluida dari suatu tempat ke tempat lain yang diinginkan dengan bantuan mesin atau pompa. Sistem perpipaan merupakan sistem yang kompleks yang didesain se-efektif dan se-efisien mungkin di dalam kapal untuk memenuhi kebutuhan kapal, kru, muatan dan menjaga kapal baik saat berjalan maupun saat berhenti. Misalnya pipa yang digunakan untuk memindahkan minyak dari tangki minyak ke tangki mesin, memindahkan minyak pada bantalan-bantalan, mentransfer air untuk keperluan pendinginan mesin dan kebutuhan sehari-hari diatas kapal, untuk memasukkan dan mengeluarkan muatan, serta masih banyak lagi.

Sesuai dengan fungsinya, instalasi pipa air laut digunakan untuk mengalirkan air laut dari satu tanki ke tanki lain, dari luar ke alam kapal, dari kapal ke laut, dan lain sebagainya. Pengaliran air laut menggunakan sarana pompa, dapat berupa pompa hisap atau pompa tekan, pompa ini disebut pompa air laut/*Sea water pump*.

Air laut antara lain dibutuhkan untuk sistem pemadaman kebakaran(Fire Hydrant system), Sistem Pendingin Mesin Induk/Bantu (Sea Water Cooling System), Sistem Bilas Sanitasi(Sewage Flushing System), Sistem Cuci Geladak (Deck Washing System), Sistem Pencuci Rantai di Hawse pipe (Chain washing system) dan sistem Balas dikapal(Sea water ballast system).

Faktor-faktor yang dibutuhkan untuk menentukan material relevan sebagai pipa air laut adalah :

- Tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh air laut disegala kondisi
- Tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh lingkungan eksternal
- Tahan terhadap laju alir laut yang tinggi



- Ketahanan terhadap makhluk hidup yang ada di laut
- Sifat Mekanik dan Fisik dari material yang dipilih
- Bisa dilakukan machining, dipotong, dan proses fabrikasi lainnya
- Bisa dilakukan teknik joint dalam penyambungan, dan dilakukan metode NDT untuk menyeleksi kualitas dari joints
- Bisa dirakit dengan pompa yang kompatibel, katup, *heat exchangers*, dll
- Ketersediaan pasokan pipa dan komponen seta bahan baku yang bisa difabrikasi
- Kemampuan untuk menahan bahaya ketika dilakukan konstruksi instalasi pipa, seperti kerusakan mekanik, kebakaran, dan lain-lain.
- *Initial Cost* dari pipa dan komponen dan *cost* dari fabrikasi dan instalasi pipa.

Material yang bisa digunakan sebagai pipa air laut adalah paduan tembaga, terutama paduan tembaga-nikel (*copper nickel series*), Baja Karbon, Baja Galvanis, Baja Karbon yang di lapisi (seperti cat, *bitumen*, *rubber*, semen, mortar), Baja Tahan Karat (Stainless Steel), polimer, dan Titanium.

Ringkasan sifat-sifat yang relevan dari bahan-bahan ini diberikan pada Tabel 1. Untuk membuat sebuah penilaian ekonomi lengkap dari berbagai bahan kompetitif dengan mempertimbangkan semua faktor-faktor yang disebutkan di atas adalah tentang dengan masalah kompleksitas yang ekstrem, mendekati hal yang tidak mungkin.

Data yang memadai mengenai kondisi layanan mungkin tidak tersedia dan bahkan jika kondisi awal bisa ditentukan secara tepat, data-data tersebut dapat berubah dengan cara yang tidak terduga. Perkiraan probabilitas yang bisa memenuhi kebutuhan standar untuk berbagai material harus dibuat. Biaya awal harus diimbangi dengan biaya pemeliharaan, perbaikan dan penggantian dan hilangnya pendapatan akibat pemadaman listrik. Perhitungannya perlu memasukkan asumsi tentang variasi biaya

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



material, biaya tenaga kerja, suku bunga, inflasi, kebijakan perpajakan, harga produk dan sebagainya. Dalam beberapa situasi, biaya kerusakan jauh lebih tinggi daripada di lainnya. Dalam instalasi lepas pantai, penurunan produksi dapat dengan cepat membuat penghematan biaya yang dilakukan di biaya pertama instalasi menjadi gagal dan pelaksanaan perbaikan bisa menjadi masalah yang cukup besar karena pengeluaran menjadi besar

Karena tingkat kompleksitas yang tinggi ini harus ditempatkan pada awal yang sebenarnya atau yang terkait pengalaman. Penggantian dari material yang sudah dipakai tidak akan dipertimbangkan kecuali ada biaya insentif yang cukup besar dan terdapat cukup bukti keandalan dari material yang baru. Bukti yang dapat diterima bisa berbentuk penggunaan material dalam waktu yang panjang dan hasil yang baik dari penggunaannya. Contoh yang bagus adalah penggantian material dari baja karbon menjadi paduan tembaga 90/10 tembaga-nikel untuk jaringan pipa air laut di platform lepas pantai, berdasarkan hasil yang terbukti pipa tembaga-nikel bisa diaplikasikan dengan baik di kapal dan instalasi laut

**Tabel 2.1 Perbandingan Dari Sifat Berbagai Material  
Pipa (CDA, 1986)**

Material	General Corrosion	Deposit Attack	Crevice Corrosion	Impingement Attack	Behaviour in the Presence of Sulphide Pollution	Effect of Chlorination	Marine Fouling	Mechanical Strength	Fire Resistance	Fabrication and Component Availability
90/10 Copper-Nickel CuNi10Fe1Mn	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2
Carbon Steel	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2
Austenitic Stainless Steel	2	0	0	2	1	1	0	2	2	2
Austenitic Stainless Steel *	2	1	1	2	1	1	0	2	2	1
Duplex Stainless Steel *	2	1	1	2	1	1	0	2	2	1
Ferritic Stainless Steel *	2	1	1	2	1	1	0	2	2	1
Plastics	2	2	2	2	2	2	0	1	0	1
Titanium	2	2	2	2	2	2	0	2	2	1



0- Not resistant

1-Potensial Problem life or some design etc reservations

2- Satisfactory

\* High Molybdenum

Dari beberapa jenis pipa air laut yang sering dipakai adalah baja karbon, karena *Initial Cost*-nya yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan lainnya, ketersediaan material pipanya dan komponen yang siap pakai serta adanya prosedur pengelasan yang banyak digunakan dan diterima. Namun korosi baja relatif lebih cepat di air laut. Sistem baja, meski relatif murah, akan memiliki kehidupan memiliki *lifetime* yang pendek. Kegagalan dapat terjadi dalam waktu satu atau dua tahun penggantian lengkap memerlukan waktu lima tahun. Dengan sistem penggantian seperti itu akan membutuhkan biaya yang besar, sehingga pipa baja biasanya untuk pemakaian pipa dalam waktu yang singkat.

## 2.2 Tembaga

Tembaga telah banyak digunakan saat ini dan terus berkembang penggunaannya di dalam masyarakat. Penggunaan tembaga merupakan salah satu tanda perkembangan zaman dari era neolitik(jaman batu) menjadi era chalcolitik (zaman tembaga). Sifat kimia, fisik, dan estetika menjadikannya sebagai material pilihan pertama dalam berbagai aplikasi teknologi dalam negeri, industri, dan teknologi tinggi. Tembaga bersifat ulet, tahan korosi, mudah dibentuk, dan sebagai konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Tembaga merupakan salah satu logam yang secara alami ditemukan dalam bentuknya yang murni, tetapi bentuk yang murni tersebut memiliki kelemahan yaitu sifatnya yang lunak. Oleh

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



karena itu dilakukan proses paduan tembaga dengan logam lain seperti seng yang bisa menjadi kuningan, dan aluminium atau timah yang bisa membentuk perunggu, dan bisa juga dipadu dengan nikel. Paduan ini menghasilkan karakteristik baru seperti menjadikannya lebih kuat dari tembaga, sehingga bisa dibuat untuk berbagai macam perkakas.

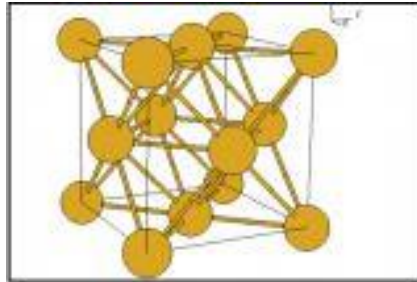
Contoh penggunaan tembaga adalah :

- Sebagai penghantar listrik dan panas
- Dalam bidang komunikasi
- Pipa dan gas
- Sebagai atap, downspouts
- Digunakan untuk bahan membuat patung, dan bentuk seni lainnya

Pada masa sekarang, tembaga digunakan dalam fasa murni dan umumnya diaplikasikan pada peralatan yang membutuhkan konduktivitas termal listrik yang tinggi. Dalam bentuk paduan dengan logam lain pun, seperti kuningan dan perunggu, secara luas sering digunakan karena memiliki sifat tahan korosi dan tahan aus yang tinggi. Sampai saat ini, tembaga dan paduannya masih menjadi sumber daya alam yang penting untuk perkembangan kehidupan manusia kedepannya (Collini, 2012)

Tembaga dengan nama kimia dikenal dengan Cupprum dilambangkan dengan Cu, unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia tembaga menempati posisi dengan nomor atom 29 dan mempunyai berat atom 63, 546. Unsur tambahan di alam dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau dalam senyawa padat, dalam bentuk mineral (Friebeg, 1977)





**Gambar 2.1 Struktur Kristal Tembaga FCC (Evehart, 1971)**

Pada gambar 2.1 menunjukkan tembaga (Cu) adalah logam non-polimorf dengan kisi FCC. Tembaga murni memiliki warna kemerahan, memiliki titik lebur pada 1083°C, dan berat jenisnya adalah 8900 kg.m<sup>-3</sup> yang lebih besar dibandingkan dengan aluminium. (Konecna, 2012)

Tembaga (Cu) mempunyai sistem kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop butir akan berwarna *pink* kecoklatan sampai keabuan. Unsur tembaga terdapat pada hampir 250 mineral, tetapi hanya sedikit yang dapat dikomersialkan (Van vliet, 1984)

Sistem Penamaan *Unified Numbering System* (UNS) merupakan sistem penamaan yang diterima secara luas untuk produk *wrought copper*, *cast copper*, dan paduan tembaga. Sebagai contoh, *Copper Alloy* No. 377 menjadi C3700 dalam sistem penamaan UNS. Sistem penamaan ini kemudian disusun oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan *Society of Automotive Engineers* (SAE).



**Tabel 2. 2 Klasifikasi Wrought Copper (ASM Internasional, 2001)**

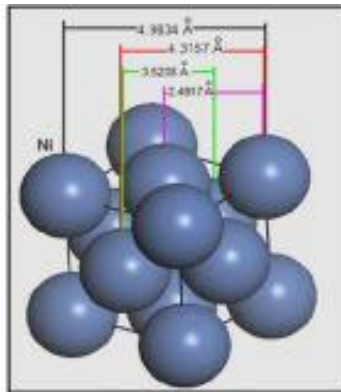
<b>Wrought Alloys</b>	<b>No. UNS</b>	<b>Komposisi</b>
Coppers (a)	C10100-C15815	>99% Cu
High-copper alloys(b)	C16200-C19900	>96% Cu
Brasses	C20100-C2800	Cu-Zn
Leaded brass	C31200-C38500	Cu-Zn-Pb
Tin Brasses	C40400-C48600	Cu-Zn-Sn-Pb
Phosphor bronzes	C501000-C52480	Cu-Sn-P
Leaded Phosphor bronzes	C53400-C54400	Cu-Sn-Pb-P
Copper-phosphorus and copper-silver-phosphorus alloy (c)	C53400-C54400	Cu-P-Ag
Alumunium bronzes	C60800-C64210	Cu-Al-Ini-Fe-Sn
Slilicon bronzes	C64700-C66100	Cu-Si-Sn
Copper-Zinc alloys	C66300-C69710	Cu-Zn-Mn-Fe-Sn-Al-Si-CU
Copper Nickels	C70100-C72950	Cu-Ini-Fe
Nickel Silvers	C73500-C79830	Cu-Ini-Zn

### 2.3 Nikel

Elemen nikel adalah anggota kelompok transisi di seri keempat dari tabel periodik, yang meliputi besi, nikel, dan kobalt. Ini memiliki atom nomor 28. Berat atom nikel adalah 58,71 dan merupakan gabungan dari lima stabil isotop, memiliki berat atom 58,60,61,62, dan 64. Struktur kristal normal nikel adalah FCC



seperti gambar 2.5 dan memiliki sebuah konstanta kisi 3,5238 Å pada 68 °F. Meski nikel dengan kemurnian 99,99% sudah dibuat, sifatnya dilaporkan memiliki kesamaan dengan material yang memiliki kandungan nikel sebesar 99,95%. Nikel komersial di mengandung komposisi sekitar 99,5% nikel + kobalt.



**Gambar 2.2 Kristal Nikel (Evehart, 1971)**

Pada gambar 2.2 menunjukkan Nikel merupakan logam dengan memiliki struktur kristal FCC. Nikel mungkin yang paling serbaguna dari unsur logam. Diantara paduan mengandung nikel memiliki sifat ketahanan korosi tinggi, kekuatan yang baik dan daktilitas yang sangat baik dari temperatur mendekati mutlak nol sampai mendekati 2000 °F. Beberapa paduan nikel sangat magnetis, yang lain hampir nonmagnetik, beberapa memiliki tingkat ekspansi termal yang rendah, yang lain memiliki tingkat tinggi, beberapa memiliki resistivitas listrik yang tinggi. Selain itu, nikel bersifat magnetostriktive. Dengan berbagai karakteristik ini, tidak mengherankan bila ada begitu banyak paduan yang mengandung nikel. (Evehart, 1971) Nikel dan paduan nikel yang dikomersialkan pada umumnya memiliki fasa full-austenite dan umumnya digunakan karena memiliki sifat ketahanan yang baik



pada temperatur dan korosi pada keadaan basah (ASM International, 2001). Meskipun nama jual umumnya digunakan sampai sekarang, akan tetapi nikel dan paduannya sekarang diidentifikasi dalam UNS dengan kode huruf N. Beberapa nama dagang yang umum untuk nikel antara lain:

- Monel, yaitu paduan nikel-tembaga
- Inconel, yaitu paduan nikel-krom dengan kekuatan tarik mencapai 1400 Mpa.
- Hastelloy juga merupakan paduan nikel-krom dengan ketahanan korosi yang baik dan memiliki kekuatan yang tinggi pada temperatur yang meningkat.
- Nichrome, yaitu paduan antara nikel, krom, dan besi. Paduan ini memiliki resistansi listrik yang tinggi dan resistansi terhadap oksidasi yang tinggi. Umumnya digunakan untuk peralatan pemanas listrik.
- Invar dan Kovar, merupakan paduan antara besi dan nikel. Paduan ini memiliki sensitifitas yang relatif rendah terhadap perubahan temperatur.
- Alumei, merupakan paduan antara nikel, mangan, aluminium, dan silikon.
- Chromel, yaitu paduan antara nikel dan krom.
- Cupronickel, yaitu paduan antara nikel dan tembaga.
- German silver, merupakan paduan antara nikel, tembaga, dan seng.
- Mu-metal, merupakan paduan antara nikel dan besi.
- Ni-C, merupakan paduan antara nikel dan karbon.
- Nicrosil, merupakan paduan antara krom, silikon, dan magnesium.
- Nisil, merupakan paduan antara nikel dan silikon.
- Nitinol, merupakan paduan antara nikel dan titanium (Kalpakjian, 2009).

Beberapa sifat fisik, misalnya resistivitas listrik, dipengaruhi sampai tingkat yang cukup besar oleh sejumlah kecil



impuritis. Nikel karbon rendah (0,02% C max), yang mengeras pada tingkat yang lebih rendah dari varietas biasa, digunakan untuk operasi pembentukan pada temperatur yang sangat dingin dan lebih cenderung untuk operasi pada temperatur di atas 600°F. Tiga modifikasi lainnya, nominal nikel + kobalt 99,5% diproduksi khusus untuk aplikasi elektronik seperti kemurnian tinggi (secara nominal 99,98% nikel) mengandung kobalt kurang dari 0,001% (Evehart, 1971).

**Tabel 2.3 Sifat Mekanik Nikel Murni (Evehart, 1971)**

Form	Yield strength (0.2% offset), ksi	Tensile strength, ksi	Elongation (2 in.), %	Rockwell hardness
Rod and bar				
Hot finished	15-45	60-85	55-35	B45-80
Cold drawn	40-100	65-110	35-10	B75-98
Annealed	15-30	55-75	55-40	B45-70
Plate				
Hot rolled	20-80	55-100	55-35	B55-80
Annealed	15-40	55-80	60-40	B45-75
Sheet				
Hard	70-105	90-115	15-2	B90 min
Annealed	15-30	55-75	55-40	B70 max
Strip				
Spring	70-115	90-130	15-2	B95 min
Annealed	15-30	55-75	55-40	B64 max
Tubing				
Stress-relieved	40-90	65-110	35-15	B75-98
Annealed	12-30	55-75	60-40	B70 max
Wire				
Spring	105-135	125-145	15-4	—
Annealed	15-50	55-85	50-30	—



**Tabel 2.4 Sifat Fisik dari Nikel (Evehart, 1971)**

	"High purity" nickel (99.97 % min)	Commercial nickel (99.5 % nom)
Melting point, F	2650	2615-2635
Boiling point, F	4950	—
Vapor pressure (at m.p.), mm Hg	$9.4 \times 10^{-3}$	—
Specific heat (70 F), Btu/lb/°F	0.11	0.109
Thermal conductivity (200 F), Btu/hr/ft <sup>2</sup> /°F/ft	45.7	39
Coefficient of thermal expansion (70-1000 F), per °F	$9.2 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$
Electrical resistivity, microhm-cm	7.16	9.5
ohm/cir mil ft	43.17	57.2
Temperature coefficient of resistance (68-212 F), microhm-cm /°F	0.0038	0.0027
Curie temperature, F	667	680
Saturation magnetization, gauss	6170	6000
Maximum permeability ( $H = 1$ ), gauss	2000-3000	1500-2000
Initial permeability, gauss	200	200
Residual induction, gauss	3000	3100
Coercive force, Oe	3.0	3.0
Modulus of elasticity, ksi	30,000	29,600
Modulus of rigidity, ksi	12,000	11,700
Poisson's ratio	—	0.26
Density, lb/in. <sup>3</sup>	0.322	0.321

Tabel 2.3 menunjukkan sifat mekanik dari Nikel dari beberapa bentuk dan perlakuan. Tabel 2.4 mencakup beberapa dari berbagai sumber sifat termal, listrik, magnetik, elastis, dan lain-lain dari Nikel murni dan komersial. Sifat mekanik nikel dipengaruhi oleh kemurnian dan beberapa materi lainnya. Nikel komersial memiliki komposisi nominal 99,5% nikel + kobalt, 0,08% karbon, 0,18% silikon, 0,18% mangan, 0,2% besi, 0,13% tembaga, dan 0,005% belerang. Sejumlah modifikasi diproduksi untuk tujuan khusus.

## 2.4 Paduan Tembaga-Nikel

Tembaga nikel memiliki kekuatan yang baik pada temperature normal dan temperature tinggi, tahan terhadap korosi, dan mereka memiliki ketahanan aus yang baik dan ketahanan listrik yang besar. Paduan biner Cu-Ni dengan kandungan Ni rendah (dibawah 10%) hanya digunakan secara terbatas. Mereka dilapisi oleh paduan Cu yang lebih murah. Paduan dengan



kandungan Ni lebih banyak (15 sampai 30%) memiliki ketahanan terhadap korosi dan kemampuan formulasi dingin yang baik. 15% sampai 20% campuran Ni digunakan untuk proses pengerjaan logam yang digunakan untuk membentuk lembaran/plat menjadi bentuk seperti mangkuk. Paduan dengan 25% Ni digunakan untuk produksi koin dan paduan dengan 30% Ni digunakan dalam industri kimia dan makanan. Paduan Cu-Ni yang kompleks memiliki penggunaan yang lebih luas dalam praksis teknis dibandingkan dengan binaryalloy. CuNi30Mn dengan kandungan Ni dari 27 sampai 30%, kandungan Mn dari 2 sampai 3% dan kandungan pengotor di bawah 0,6% ditandai dengan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap korosi pada tingkat yang lebih tinggi. Dari paduan Cu-Ni, yang satu ini memiliki ketahanan listrik spesifik terbesar dan digunakan untuk material elemen resistif dan termal (Konecna, 2012). Hampir setiap kombinasi nikel tembaga dan nikel sampai 50% telah dibuat. Namun, paduan tembaga-nikel yang paling penting untuk aplikasi teknik adalah yang mengandung nikel 10% sampai 30%, khususnya yang didasarkan pada komposisi 90/10, 80/20, dan 70/30. Ini masing-masing diberi CA 706, CA710, dan CA 715 oleh Copper Development Association (Evehart, 1971).

**Tabel 2.5 Unsur kandungan tembaga nikel (Evehart, 1971)**

CDA No.	Common name	Composition, %			
		Cu	Ni	Fe	Mn
CA 706	Copper-Nickel, 10%	88.6	10	1.4	1.0*
CA 710	Copper-Nickel, 20%	80	20	1.0*	1.0*
CA 715	Copper-Nickel, 30%	70	30	0.7*	1.0*

Pada tabel 2.5 disajikan penamaan paduan Tembaga-Nikel untuk beberapa paduan. Paduan Cu-10 Ni, dimodifikasi dengan penambahan besi ke komposisi dasar. Paduan ini biasanya



digunakan untuk pembentukan tabung bawah laut, dan heat exchanger. Besi ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap tubrukan yang mungkin terjadi pada tabung bawah laut yang diakibatkan oleh arus air yang berkecepatan tinggi.

Paduan Cu-20Ni, biasanya pada umumnya digunakan untuk tabung pada evaporator dan pada heat exchanger. Selain itu, juga digunakan pada turbin dan komponen elektrik.

Paduan Cu-30Ni, adalah paduan tembaga nikel yang paling banyak digunakan dibandingin paduan tembaga lainnya. Dengan sedikit penambahan dari besi dan mangan, paduan ini memiliki ketahanan yang paling baik terhadap tubrukan atau tekanan, biasanya digunakan pada aplikasi kondensator pada kapal dan pada pembangkit listrik, dikarenakan ketahanan korosi yang sangat baik paduan ini juga digunakan pada konstruksi bahan kimia. Tiga paduan tembaga nikel diatas memiliki sifat yang cukup ulet. Sifat yang bagus pada pengerjaan, bisa pada hot work ataupun cold work dan juga mudah untuk deforming (Evehart, 1971).Sifat fisik dari paduan tembaga nikel dapat dilihat dari tabel 2.6, dimana terjadi perubahan yang bertahap seiring dengan penambahan nikel.

**Tabel 2.6 Physical Properties Dari Tembaga Nikel (Evehart, 1971)**

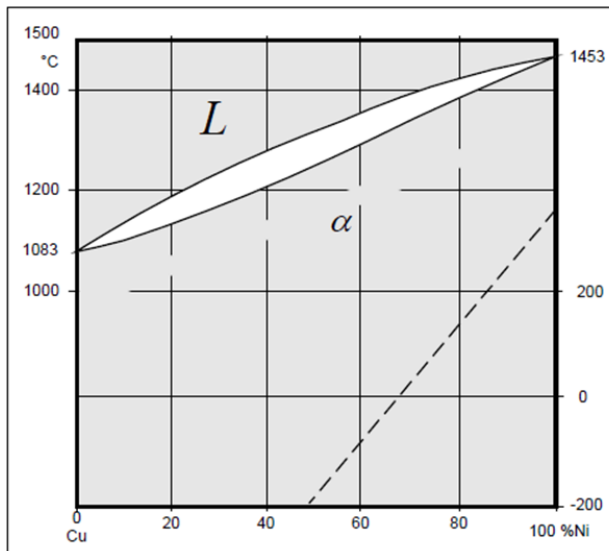
	CA 706 90/10	CA 710 80/20	CA 715 70/30
Melting range, F	2010–2100	2100–2190	2140–2260
Specific heat (68 F), Btu/lb/°F	0.09	0.09	0.09
Thermal conductivity (68 F), Btu/hr/ft <sup>2</sup> /°F/ft	26	21	17
Coefficient of thermal expansion (68–572 F), per °F	$9.5 \times 10^{-6}$	$9.1 \times 10^{-6}$	$9.0 \times 10^{-6}$
Electrical resistivity, ohms/cir mil ft	115	163	225
Modulus of elasticity, ksi	18,000	20,000	22,000
Modulus of rigidity, ksi	6,800	7,500	8,300
Density, lb/in. <sup>3</sup>	0.323	0.323	0.323

Tembaga dan nikel larut satu sama lain dalam semua bentuk dan banyak paduan telah dikembangkan yang didasarkan





pada sistem paduan biner ini. Pada gambar 2.3 ditunjukkan diagram fasa Tembaga-Nikel merupakan salah satu diagram fasa dengan sistem binary isomorphus. Sistem binary isomorphus maksudnya adalah dua logam yang saling melarutpadatkan sempurna pada segala fasa, yaitu solid, liquid, dan gas. Konsep fasa liquid dan gas mudah untuk dipahami karena bercampur di segala kondisi.



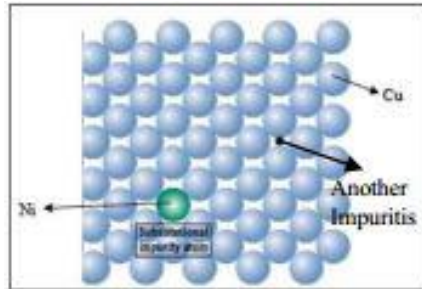
**Gambar 2.3 Diagram Fasa Tembaga Nikel (Schleich, 2006)**

Pada gambar 2.3, terlihat bahwa di temperatur kamar di 25°C, paduan Tembaga Nikel membentuk larutan padat (*Solid Solutions*). *Solid Solutions* adalah larutan padat yang terjadi ketika terjadi penambahan atom yang membentuk fasa baru berdasarkan jenis impuritas, konsentrasi, dan temperatur paduan. *Solid solution* terbentuk ketika atom yang terlarut masuk kedalam atom pelarut, membentuk struktur kristal dan tidak ada perubahan struktur kristal



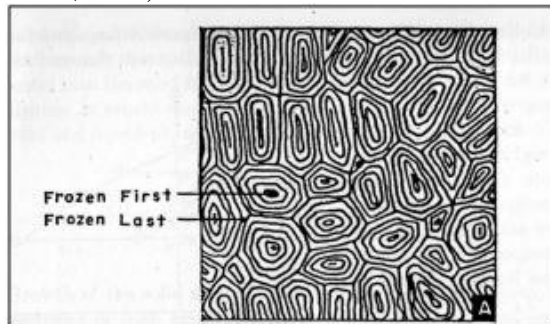
baru yang terbentuk. Hal ini bisa dianalogikan seperti pada dua cairan (*liquid*) yang melarutpadatkan satu sama lain. Larutan terbentuk ketika molekul bercampur, dan komposisinya menjadi homogen. Larutan padat juga membentuk komposisi yang homogen, dimana atom terlarut secara merata terdispersi di dalam fasa solid. Dapat dilihat pada gambar 2.4 yang merupakan penggambaran dari jenis larutan padat(*solid solution*). Terdapat dua jenis larutan padat, yaitu *substitutional solid solution* dan *interstitial solid solution*. *Substitutional solid solution* yaitu ketika logam terlarut akan menggantikan posisi logam pelarut pada struktur kristal. Kondisi larutan padat ini biasanya terjadi ketika jari-jari salah satu atom hampir sama besar dengan jari jari atom kedua. *Interstitial solid solution* yaitu ketika logam terlarut akan masuk diantara logam pelarut pada struktur kristal. Kondisi larutan padat ini biasanya terjadi ketika jari-jari salah satu atom jauh lebih besar dari jari-jari atom kedua. Pada larutan padat isomorphus akan selalu memiliki jenis substitutional. Faktor terjadinya larutan padat subtitusional atau substitusi sesuai *Hume-Rothery rules* yaitu sebagai berikut :

- a. *Atomic size factor*. Ukuran atau jari-jari yang bisa membentuk larutan padat yaitu hanya terjadi ketika perbedaan jari-jari diantara dua atom yang berbeda kurang dari 15%
- b. *Crystal Structure*. Struktul kristal diantara atom terlarut dan atom terlarut harus memiliki tipe atom yang sama
- c. *Electronegativity factor*. Semakin elektropositif satu elemen dan semakin elektronegatif elemen lainnya, akan semakin kuat membentuk senyawa intermetalik daripada membentuk larutan padat subtitusional.
- d. *Valences*. Faktor yang sangat penting, yaitu logam harus memiliki kecenderungan untuk melarutkan logam lain, atau dengan kata lain logam yang mempunyai nilai valensi lebih tinggi melarutkan logam yang mempunyai nilai valensi lebih rendah.



**Gambar 2.4 Ikatan Substisional dan Intertitial (Callister, 2007)**

Pada gambar 2.5 dapat dilihat dari solidifikasi pada sebuah paduan mulai muncul pada sebuah partikel kecil (*Nuclei*) yang mengandung lebih banyak logam yang mempunyai titik cair yang tinggi dengan dikelilingi oleh logam yang memiliki titik cair lebih rendah (Rhines, 1956).



**Gambar 2.5 Solidifikasi paduan Tembaga-Nikel (Rhines, 1956)**



Paduan Tembaga-Nikel merupakan salah satu diagram fasa dengan sistem *binary isomorphus*. Sistem *binary isomorphus*, maksudnya adalah dua logam yang saling melarutpadatkan sempurna pada segala fasa, yaitu solid, liquid, dan gas. Terdapat dua jenis larutan padat yaitu substitutional solid solution dan interstitial solid solution. Ketika terjadi substitutional solid solution maka akan ada impuritis yang terlarut (Solute) kedalam logam inang, dan seterusnya akan menyebabkan distorsi pada ikatan atom, sehingga pada daerah yang terjadi distorsi akan mengalami tegangan sisa. Semakin banyak daerah yang mengalami tegangan sisa akan semakin meningkat kekuatan mekaniknya seperti kekerasan dan kekuatan tarikannya. Gambar 2.9 menunjukkan peningkatan kekuatan dan kekerasan pada padua Isomorphus hingga mencapai komposisi tertentu dan turun lagi.

### **2.5 90/10 Copper Nickel Alloy**

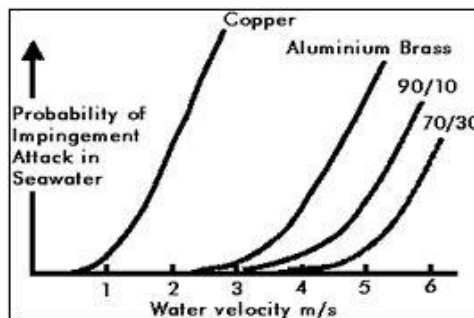
Material ini juga dikenal dengan nama Kunifer10. Material ini adalah material yang paling mendekati persyaratan penggunaan berbagai macam aplikasi pipa air laut secara luas. Sebenarnya penggunaan material 70/30 tembaga nikel juga menguntungkan, tetapi dengan penggunaan di kecepatan alir yang rendah dan ukuran pipa yang besar, paduan tembaga ini tidak ekonomis, sehingga digunakan material 90/10 tembaga-nikel yang bisa didesain dengan diameter yang lebih kecil. Penggunaan 90/10 Copper-Nickel alloy dalam penggunaan sebagai *heat exchangers* dan sistem perpipaan bidang kelautan memiliki sejarah yang panjang. Mengapa material 90/10 tembaga dipilih karena :

- a. Memiliki kemampuan las (*weldability*) yang lebih baik. Walaupun aluminium brass dapat dilas menggunakan *filler* aluminium bronze, tetapi pengelasan ini membutuhkan prosedur yang relatif sulit. Perak brazing bisa juga dilakukan untuk penyambungan tetapi membutuhkan biaya yang relatif mahal, pertama karena paduan perak membutuhkan komposisi minimal 50%



- perak yang bisa dilakukan untuk mencegah korosi. Kedua karena teknik pengelasannya yang sulit dan waktu yang lama untuk ketebalan material diatas 50mm.
- Mempunyai sifat tahan korosi yang tinggi. Material 90/10 tembaga-nikel tidak membutuhkan perlakuan panas *stress relief* untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *stress corrosion cracking* yang rentan di air laut.
  - Salah satu produsen utama (Gilbert, 1979) mencatat bahwa ketika penggunaan pipa 90/10 Copper-Nickel alloy di 20 tahun pertama sebagai material pipa air laut, hanya sembilan kasus kegagalan prematur yang terjadi, empat di antaranya terkait dengan material yang memiliki kandungan besi lebih rendah dari yang biasanya dengan tujuan untuk memberikan perlindungan korosi yang baik. Semua kegagalan ini, disebabkan karena kecepatan air laut yang sangat tinggi.

Ketika menggunakan material non-ferrous di sistem perpipaan, batas laju alir fluida yang mengalir harus didesain untuk mencegah terjadinya korosi erosi (*impingement attack*), dan terkadang bisa muncul turbulensi.



**Gambar 2.6 Hubungan Antara Laju Alir Fluida Terhadap Kemungkinan Terjadi Impingement Attack**



Gambar 2.6 mengindikasikan bagaimana kemungkinan terjadinya kegagalan material yang disebabkan oleh *impingement attack* yang disebabkan desain laju alirnya (Gilbert, 1968).

Desain laju alir fluida untuk beberapa material adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.7 Desain Laju Alir Maksimal di beberapa Material**

Tembaga	0,75 m/s
Aluminium brass	2.5 m/s
90/10 Tembaga-Nikel	3,0 m/s
70/30 Tembaga Nikel	3,5 m/s

Laju korosi 90/10 tembaga-nikel awalnya berjalan secara statis, dan kemudian laju korosi tersebut menurun secara drastis sehingga tingkat korosi tersebut sangat kecil sekali disebabkan karena terjadi pembentukan film pelindung di material tersebut yang bisa mengurangi tingkat korosi. Penelitian yang dilakukan oleh (Castle, 1985) telah menunjukkan bahwa film ini memiliki struktur multilayer dan laju korosi yang rendah disebabkan oleh ketebalan film bagian dalam yang tipis, yang menampilkan polarisasi katodik yang kuat. Salah satu lapisan pelindung yang kaya akan besi yang memiliki sifat mekanis yang kuat memberikan ketahanan terhadap korosi erosi(*impingement attack*)

Material 90/10 tembaga-nikel tahan terhadap korosi tegangan, korosi celah atau korosi sumuran di air laut dan klorinasi apabila masih dalam batas normal dan tidak memberikan efek yang signifikan. Material ini memiliki ketahanan yang baik terhadap pengotor laut dan permukaannya tetap relatif bersih tanpa batas waktu kontak dengan air laut. Kadang, beberapa pengotor bisa menempel di material, tapi kemudian sering lepas dengan sendirinya.

90/10 tembaga-nikel bisa dipotong, dilakukan permesinan, di-*forging*, di-*brazing*, dan di las yang menggunakan berbagai macam teknik. (TIG, MIG, SAW). Proses fabrikasi dan Pengujian



tanpa merusak (NDT) bisa dilakukan dengan baik apabila terdapat peralatan yang memadai dan operator yang memiliki skill yang baik. Terdapat berbagai macam sumber standarisasi yang telah dibuat yang cocok dengan spesifikasi berbagai negara, sehingga material ini cocok untuk diaplikasikan diberbagai macam negara. Berbagai variasi komponen (bends, reducers, tees, weld-neck flanges, dll) sudah tersedia yang bisa digabungkan dengan pompa, katup, dan komponen lainnya. Material ini sudah memenuhi standar dan persyaratan penggunaan di perkapalan dan berbagai bidang kelautan lainnya.

Material 90/10 Tembaga ini punya beberapa kelemahan, diantaranya adalah :

- a. Kekuatan mekanik tidak sebaik dari beberapa material lainnya. Sehingga penggunaannya sebagai pipa dengan tekanan rendah dan pipa ukuran yang lebih kecil, tetapi bisa juga diaplikasikan di beberapa kondisi tekanan tinggi dengan mendesain tebal pipa yang lebih tebal, dan juga dibutuhkan paduan tembaga yang lebih kuat sehingga dilakukan modifikasi paduan tembaga-nikel, atau penggunaan alternatif lain adalah dengan paduan aluminium bronze.
- b. Paduan tembaga dapat terjadi reaksi korosi yang cepat apabila terkena polutan air laut yaitu sulfida, dan juga air laut yang sudah ter-aerasi. Polutan ini menyebabkan lapisan pelindung paduan tembaga menjadi tidak aktif.
- c. Material 90/10 tembaga-nikel ini akan mengalami korosi erosi (impingement attack) apabila fluida atau air laut di pipa mengalir dengan kecepatan tinggi dan terkadang mengalami turbulensi. Telah dilakukan banyak percobaan untuk mencegah terjadinya korosi erosi ini, tetapi dalam prakteknya sangat jarang material ini diaplikasi tanpa terjadi kesulitan, karena air laut yang memiliki kecepatan tinggi ini bernilai ekonomis. Dalam beberapa kondisi kritis, kecepatan alir air laut ini bisa diatasi dengan



menggunakan diameter pipa yang lebih besar, tetapi berimbas ke naiknya biaya penggunaan material yang memiliki diameter lebih besar ini.

## **2.6 Pengelasan**

Berdasarkan definisi dari Deutsche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan juga bisa didefinisikan sebagai perpaduan yang sesuai antara temperatur, tekanan, dan kondisi metalurgi (Ibrahim Khan, 2007). Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada waktu ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan.

Berdasarkan penemuan benda-benda sejarah dapat diketahui bahwa teknik penyambungan logam telah diketahui sejak dari zaman prasejarah, misalnya pembrasingan logam paduan emas-tembaga dan pematrian paduan timbal-timah menurut keterangan yang didapat telah diketahui dan dipraktekkan dalam rentang waktu antara tahun 4000 sampai 3000 SM. Sumber energi panas yang dipergunakan pada waktu itu diduga dihasilkan dari pembakaran waktu tahu arang.

Perkembangan teknologi pengelasan logam memberikan kemudahan umat manusia dalam menjalankan kehidupannya. Saat ini kemajuan ilmu pengetahuan di bidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambunginya. Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu





tersebut dikenal dengan istilah fusion. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut.

Karena ada pengaruh panas saat pengelasan maka menyebabkan adanya perubahan fasa logam dari padat hingga mencair. Akibat panas tersebut logam terbagi menjadi 3 bagian, yaitu daerah terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ), logam lasan yaitu bagian logam yang pada waktu pengelasan menjadi cair dan membeku, dan kemudian logam induk yang tidak terpengaruh oleh panas. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Harsono, 2000).

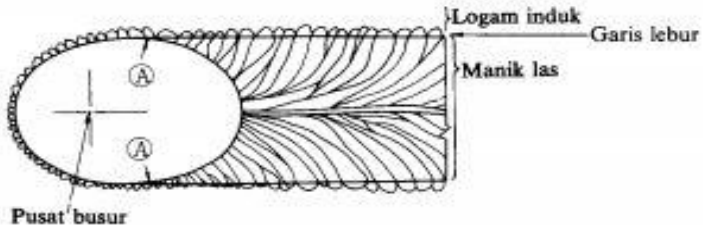
Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah :

- 1.) Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi
- 2.) Sumber panas dalam las bergerak terus
- 3.) Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus
- 4.) Pembekuan logam gas mulia mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam gambar 2.7 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas.

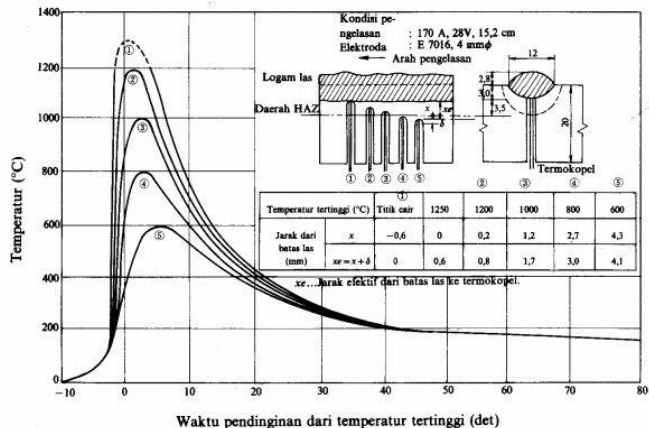


Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



**Gambar 2.7 Arah Pembekuan dari Logam Las**

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Sebagai contoh dalam gambar 2.8 ditunjukkan siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap.



**Gambar 2.8 Siklus Termal Las pada Beberapa Jarak dari Batas Las (20 mm ; 170 A; 15,2 cm/menit)**



## 2.7 Parameter Pengelasan

Parameter pada proses pengelasan suatu material merupakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil las. Tidak hanya elektroda yang akan mempengaruhi pengelasan pada material. Namun, beberapa parameter pengelasan juga akan mempengaruhi kualitas hasil lasan seperti tegangan, arus, dan kecepatan pengelasan, yang akan membuat suatu hubungan yang menghasilkan energi pengelasan, yakni *heat input* (HI) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

H = *Heat Input* (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi pengelasan

Pengaruh Voltase terhadap las Tegangan listrik (voltage) yang semakin tinggi berakibat pada bertambahnya panjang dan pancaran busur listrik (Wibowo, et.al., 2015), hal ini berpengaruh pada kestabilan busur dan panas yang dicapai saat proses pengelasan. Panas yang dicapai saat proses pengelasan mempengaruhi pembentukan struktur mikro yang berkontribusi pada sifat fisis dan mekanis sambungan las yang dihasilkan. Gas pelindung harus mempunyai kemurnian yang sangat tinggi, karena gas ini akan berhubungan langsung dengan logam cair dan sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan yang didapat. Fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi logam

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



dari oksigen dan nitrogen yang berada di atmosfer. Jika gas pelindung tidak tepat melindungi logam cair dari oksigen dan nitrogen maka akan dihasilkan lasan yang cacat porosity, slag inclusion (Zainol, 2008). Debit gas pelindung dan tegangan listrik yang di gunakan memiliki pengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis sambungan las karena mempengaruhi pembentukan busur listrik yang terjadi antara elektroda dan benda kerja. Debit gas yang semakin besar akan berakibat busur listrik yang dihasilkan semakin stabil sehingga efek panas yang di timbulkan semakin tinggi (Junus Salahudin, 2011).

## 2.8 Pengelasan GTAW

*Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) menggunakan elektroda tungsten yang tidak terumpan untuk satu kutub dari busur yang terlindungi dengan gas inert. Adanya gas inert sebagai gas pelindung berfungsi untuk melindungi elektroda dan *weld pool* serta untuk menyediakan karakteristik busur yang dibutuhkan. Ketika suatu busur menggunakan gas argon sebagai gas pelindung, maka akan ada sebuah tindakan pembersihan pada permukaan pelat selama setengah siklus ketika elektrodanya positif. Tindakan pembersihan ini mencegah adanya kontaminasi dan sangat berguna dalam mereduksi porositas pada lasan. Selain gas argon, terdapat gas helium yang juga digunakan sebagai gas pelindung karena memiliki kemampuan untuk memproduksi penetrasi busur yang tinggi. Penggunaan campuran gas argon dan gas helium sebagai gas pelindung juga menimbulkan perpaduan dari dua keuntungan masing-masing gas.

Peralatan yang dibutuhkan untuk pengelasan GTAW adalah *welding torch*, *welding power supply*, dan sumber gas inert yang sesuai dengan regulator tekanan dan *flowmeter*. Pada proses ini seperti yang ada pada gambar 2.9, busur listrik dihasilkan diantara ujung elektroda tungsten *non consumable* dan benda kerja. Fungsi dari elektroda ini sendiri adalah untuk mengalirkan arus listrik dan menghasilkan busur listrik. *Filler* metal diumpankan ke

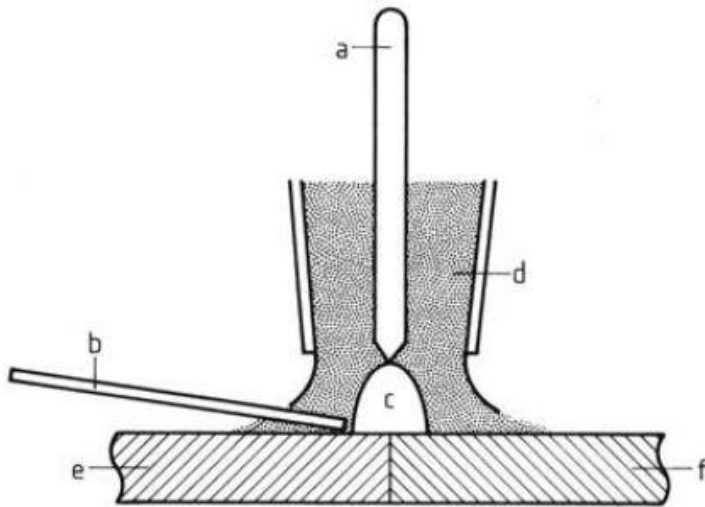


*weld pool* dari satu sisi, menggunakan tangan atau secara otomatis menggunakan sistem kabel. Argon digunakan sebagai pelindung gas, bisa juga helium atau argon atau campuran helium. Elektroda tungsten dipadu dengan 4% thorium dioksida untuk mengurangi emisi elektron di ujung elektroda dan untuk menghasilkan arus yang maksimal.

Pengelasan dengan kualitas tinggi bisa didapatkan dari metode TIG ini. Hasil paling baik ketika menggunakan arus searah dengan benda kerja sebagai kutub positif ketika mengelas baja paduan tinggi (baja krom-nikel), paduan nikel, titanium, zirkonium, tantalum, dan paduan lainnya. Arus bolak-balik digunakan untuk mengelas logam dengan temperatur leleh oksida tinggi, seperti aluminium dan paduannya, dari arus bolak-balik tersebut bisa menghilangkan lapisan oksida dari logam lasan.

Penggunaan arus secara berdenyut (*pulse current*) pada pengelasan adalah salah satu variasi dari metode TIG. Metode ini sangat berguna untuk pengelasan plat tipis, yang bisa meminimalisir daerah *heat affected zone* dan distorsi dari benda kerja tersebut. Logam lasan pun menjadi kecil, cocok ketika pengelasan di kondisi yang sulit.

Untuk hasil pengelasan yang tinggi, terdapat alat pengelasan TIG *pulsed current* secara otomatis yang bisa secara akurat melakukan pengelasan yang diprogram oleh komputer.



**Gambar 2.9 Prinsip pengelasan TIG**

- a.) **Elektroda Tungsten** b.) **Filler metal** c.) **Busur las** d.) **gas pelindung** e.) **Benda kerja**

Kelemahan pada pengelasan ini terdapat pada laju pengisian yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis pengelasan lainnya. Untuk menghasilkan pengelasan yang baik, dibutuhkan daerah sambungan yang lurus. Selain itu, pada pengelasan TIG harus dihilangkan terlebih dahulu kotoran-kotoran yang ada di sekitar spesimen yang akan di las agar terhindar dari porositas dan cacat-cacat las yang lainnya. Kecepatan udara juga harus diperhatikan. Karena jika kecepatan udara di daerah sekitar pengelasan tinggi, maka akan membuat perlindungan dari gas inert TIG menjadi berkurang sehingga hasil pengelasannya tidak maksimal.(DED, 2000)



## 2.9 Filler Metal

*Filler* metal merupakan material yang ditambahkan dengan tujuan untuk mengisi kekosongan diantara dua logam yang akan disambung. *Filler* metal yang paling banyak digunakan dalam proses pengelasan yaitu *welding rods* dan *welding electrodes*. Berdasarkan AWS A5.6 dan AWS A5.7 yang keduanya merupakan jenis filler metal yang paling cocok untuk pengelasan paduan tembaga dengan metode TIG, komposisinya dapat dilihat pada tabel 2.8. Selain komposisi elektroda terdapat sifat mekanik yang perlu diperhatikan yaitu sifat mekanik yang dapat dilihat pada tabel 2.8

**Tabel 2.8 Komposisi Elektroda untuk CuNi 90/10**

Filler Metal	Komposisi (dalam %wt)								
	Cu	Ni	Pb	Fe	Zn	Mn	Si	P	Ti
ER CuNi	Re m	29,0-32,0	0,02	0,40-0,75	-	1,0	0,25	0,02	0,2-0,5

**Tabel 2.9 Sifat Mekanik Elektroda untuk CuNi 90/10**

Sifat	ECuNi AWS A5.6	ERCuNi AWS A5.7
Kekuatan tarik	350 Mpa	350 Mpa
Kekuatan <i>yield</i>	n/a	n/a
%Elongasi	20	n/a
<i>Side Bend Test</i>	n/a	n/a

Elektroda dibuat dari tungsten dan mengandung sedikit thorium dan zirconium. Penambahan ini membuat kemampuan busur yang lebih baik dan lebih stabil. Elektroda tungsten dengan tambahan thorium digunakan untuk pengelasan DC sementara elektroda tungsten dengan zirconium digunakan untuk pengelasan AC.(Dadang, 2013)



### **2.10 Gas Pelindung**

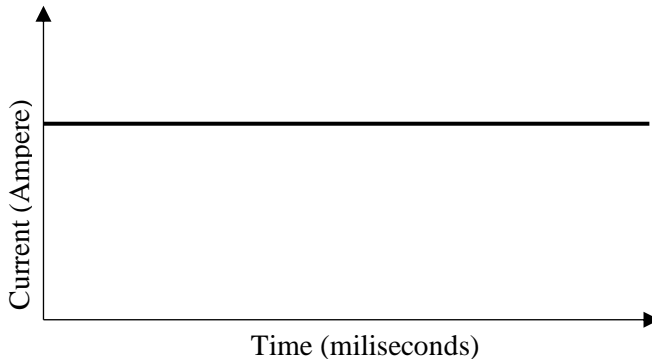
Gas pelindung digunakan dalam pengelasan GTAW untuk mencegah kontaminasi dengan lingkungan atmosfer pada logam lasan. Kontaminasi udara dapat mengakibatkan terjadinya porositas, retak las, dan bahkan dapat merubah komposisi kimia dari material saat cair. Selain itu gas pelindung juga memiliki dampak terhadap stabilitas busur listrik. Gas dengan ionisasi potensial yang rendah memfasilitasi pengapian busur listrik dan gas pelindung yang memiliki konduktivitas termal cenderung menambah stabilitas busur.

Argon merupakan jenis gas pelindung yang paling sering digunakan dalam pengelasan GTAW. Argon memiliki potensial ionisasi yang rendah dan lebih berat dari udara, sehingga menyediakan perlindungan yang bagus terhadap *weld pool* cair. Argon juga lebih murah dari helium. Laju aliran dari gas pelindung tergantung pada ketebalan lasan, biasanya untuk argon sekitar 4-10 l/min dan untuk helium 10-15 l/min. Untuk penggunaan di pengelasan biasanya menggunakan gas argon dengan kemurnian 99,995%. (Pires dkk, 2006)

### **2.11 Continuous Current TIG**

*Continuous Current TIG welding* (CC) adalah tipe arus konvensional atau umum yang digunakan ketika pengelasan. Tipe arus mengalir secara stabil ketika terjadi pengelasan. Apabila arus ini mengalir terus, terjadi kesetimbangan antara panas yang dihasilkan dengan panas yang mengalir ke benda kerja secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Temperatur ketika terjadi kesetimbangan ini menghasilkan kedalaman penetrasi yang lebih dan lebar las yang besar. Pada pengelasan *continuous current* bisa menggunakan arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC).





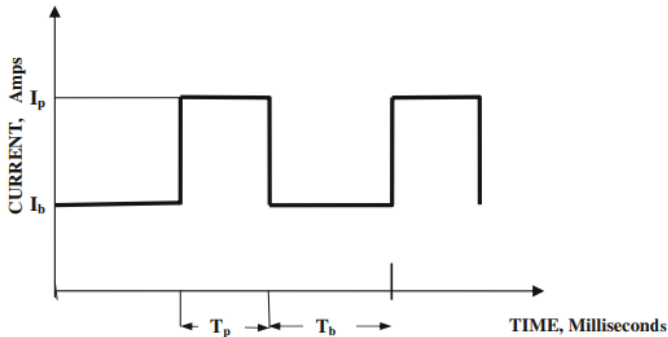
**Gambar 2.10 Grafik Dari Parameter Arus *Continuous Current* TIG**

### **2.12 Pulsed Current TIG**

*Pulsed Current TIG welding* adalah teknik pengelasan yang dikembangkan sejak tahun 1950 dimana terjadi perubahan arus secara siklik dari level arus tertinggi menuju level arus terendah dengan frekuensi tertentu yang bisa diatur. Ketika berada di level arus tertinggi, arus ini akan memberikan efek penetrasi yang merata dan kontur *bead* yang lebih merata pula, sedangkan ketika berada pada arus level terendah, arus berfungsi untuk menstabilkan busur-busur listrik (*arc*), sehingga *arc* yang digunakan untuk mendifusikan logam akan lebih efisien. *Weldpool* akan mengalami solidifikasi di level arus terendah. Teknik pengelasan ini juga meminimalisasi panas yang terbuang karena konduksi ketika dilakukan pengelasan arus secara kontinu. Dibandingkan dengan teknik pengelasan arus secara kontinu, energi panas yang dibutuhkan untuk melelehkan (*melting*) logam hanya terjadi ketika pada level arus tertinggi, sehingga memungkinkan panas yang menuju ke base metal lebih sedikit sehingga *heat affected zone* (HAZ) menjadi lebih sempit. Teknik pengelasan ini digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti



pengelasan pada tabung, pengelasan pipa, pengelasan pada plat tipis, dan lain-lain.



$I_b$  = Base Current, Amps  
 $I_p$  = Pulse Current, Amps  
 $T_b$  = Base Current Duration, Milliseconds  
 $T_p$  = Pulse Current Duration, Milliseconds  
 $F = 1 / (T_p + T_b)$ , Pulse Frequency, Hertz

**Gambar 2.11 Grafik Arus dari Parameter *Pulsed Current TIG***

Beberapa keuntungan dari pengelasan *pulsed current TIG* adalah membuat hasil dari *bead contour* menjadi lebih baik, mengurangi tegangan sisa, mengurangi distorsi, menjadikan hasil *grainsize* di *fusion zone* menjadi lebih merata, mengontrol segregasi, mengontrol penetrasi, mengurangi rentang *gap width*, mengontrol profil *weld pool*, dan lain-lain.

## 2.13 Cacat Pada Lasan

### 2.13.1. Porositas

adalah cacat las yang terjadi ketika rongga-rongga gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Rongga-rongga tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan



gas, yaitu pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, reaksi kimia didalam logam las, penyusupan gas ke dalam atmosfer busur. Beberapa unsur seperti seng, cadmium dan fosfor memiliki temperatur didih yang rendah sehingga penguapan unsur tersebut dapat menyebabkan porositas pada saat pengelasan. Reaksi kimia lainnya pun bisa terjadi dalam cairan logam las (*welding pool*). Gas Hydrogen dan uap air juga dapat menyebabkan cacat las (*welding defect*). Hydrogen yang bereaksi dengan *Oxides* yang ada dalam logam dasar dapat menyebabkan terjadinya uap yang mengakibatkan terjadinya porositas pada logam lasan. Cacat ini ditimbulkan oleh arus listrik yang terlalu tinggi, busur nyala yang terlalu panjang, dan prosedur pengelasan yang buruk.. Porositas dapat dikurangi dengan cara :

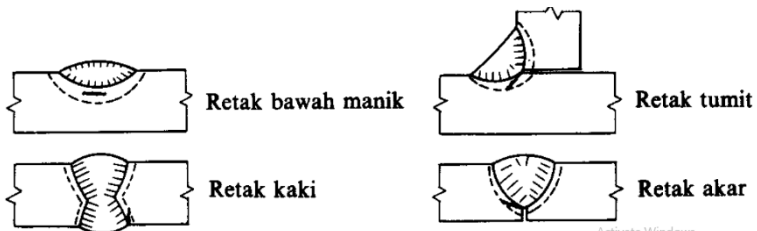
- a. menambah travel speed dan menggunakan filler metal yang memiliki presentase yang kecil dari unsur-unsur pengotor tersebut.
- b. Menaikkan laju alir gas pelindung karena semakin banyak volume gas pelindung maka akan bisa menekan gas hidrogen untuk keluar dari lasan (Sanuri, 2016)
- c. Bisa juga dengan menambahkan deoxidizer di pembungkus filler seperti titanium pada ER CuNi untuk pengelasan GTAW dan GMAW material Cu Ni. Deoxidizer adalah unsur yang mempunyai afinitas tinggi terhadap oksigen sehingga oksigen dapat diikat dan dibuang.
- d. Mencegah dengan membersihkan permukaan dengan pelarut organik seperti, thinner, benzin, acetone, dan methanol. Mempoles dengan sikat stainless steel, *vinyl buff* (Kobelco, 2015)



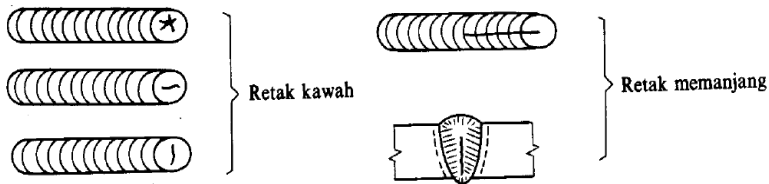
**Gambar 2.12 Cacat Porositas pada Logam Las**

### 2.13.2 Retak Las

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada temperatur dibawah temperatur transformasi martensit yang tingginya kira-kira 300°C sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada temperatur diatas 550°C. retak dingin tidak hanya bisa terjadi di daerah HAZ namun juga pada logam las. Retak dingin pada HAZ sering terjadi dan dapat dilihat dalam gambar 2.11. retak dingin utama pada daerah ini adalah retak pada daerah dibawah manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan melintang.



**Gambar 2.13 Beberapa Contoh Retak Dingin**



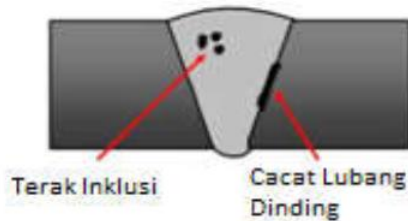
**Gambar 2.14 Beberapa Contoh Retak Panas**

Untuk retak panas dibagi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada temperatur antara  $550^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$  dan retak yang terjadi pada temperatur diatas  $900^{\circ}\text{C}$  yang terjadi saat proses pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah dan retak memanjang seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.14

Untuk menghindari retak las ada beberapa usaha yang bisa dilakukan yaitu menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hydrogen rendah. Penggunaan gas mulia juga memungkinkan untuk mengurangi adanya retak las. Selain itu tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan serta cara pengelasan yang tepat. (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

### **2.13.3 Slag Inclusion**

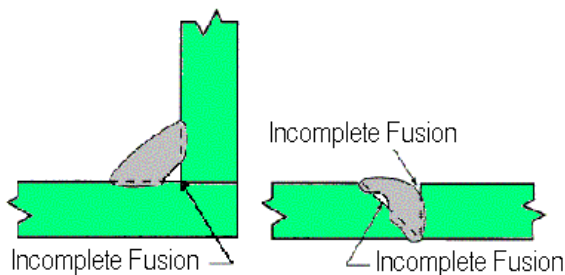
Gambar 2.15 merupakan salah satu gambar dari cacat las yaitu *slag inclusion*. Slag Inclusion adalah partikel kontaminan yang terperangkap dalam weld metal. Hal ini dapat terjadi akibat adanya pembersihan permukaan yang kurang dan juga flux yang masuk ke weld metal.



**Gambar 2.15 Cacat Las *Slag Inclusion***

#### **2.13.4 *Incomplete Fusion***

Gambar 2.16 merupakan hasil lasan yang tidak tersambung dengan sempurna. Cacat ini dapat disebabkan oleh kesalahan penggunaan besar arus, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pemilihan elektroda yang tidak tepat, maupun kesalahan pengelasan



**Gambar 2.16 Cacat Las *Incomplete Fusion***

Cara mengatasinya adalah sebagai berikut:

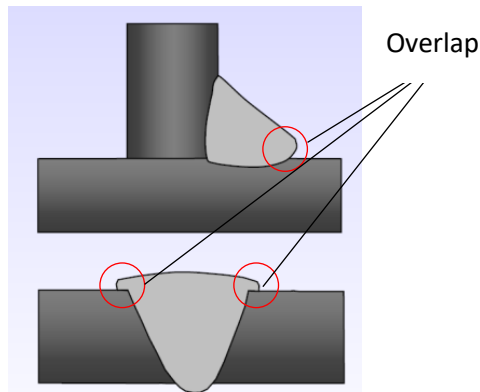
- Memperbaiki posisi pengelasan
- Penggunaan arus harus sesuai dengan prosedur
- Pemilihan elektroda yang sesuai
- Kecepatan las yang sesuai dengan prosedur.



### 2.13.5 *Overlap*

*Overlap* adalah suatu keadaan ketidaksempurnaan pada bagian *toe* atau *root* pada pengelasan yang disebabkan oleh lelehan filler metal atau logam las cair yang mengalir ke permukaan *base metal* tanpa menyatu dengan *base metal*-nya. Ilustrasi terjadinya overlap dapat dilihat pada gambar 2.17. Sedangkan penyebab dari terjadinya overlap antara lain :

- Kontaminasi dari pengotor
- Travel speed* yang rendah
- Teknik pengelasan yang kurang baik, biasanya karena operator yang kurang handal
- Arus yang terlalu rendah



**Gambar 2.17 Ilustrasi Overlap**

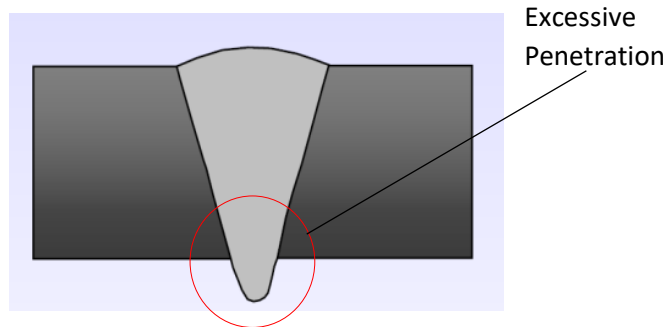
### 2.13.6 *Excessive Penetration*

*Excessive Penetration* adalah kondisi dimana manik las yang terdapat di bagian *root* mengalir secara berlebih kebawah. Manik las yang terbentuk dan dianggap mengalami *excessive penetration* adalah ketika terbentuk berlebihan melebihi spesifikasi yang digunakan. Ilustrasi dari *excessive penetration* dapat dilihat



pada gambar 2.18 dibawah. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya *excessive penetration* adalah :

- Root face* terlalu kecil
- Root gap* terlalu besar
- Arus dan/atau voltase yang terlalu besar
- Travel speed* yang terlalu rendah



**Gambar2.18 Ilustrasi *Excessive Penetration***

### **2.13.7 Crater (Kawah)**

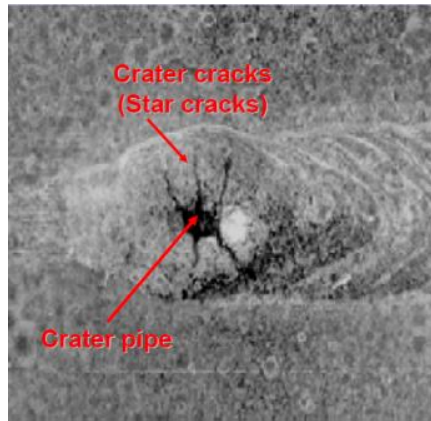
*Crater* adalah depresi yang tertinggal di *weld metal* yang mana terjadi apabila bagian tengah dari *weld pool* membeku terlebih dahulu sebelum bagian luarnya sehingga menarik bagian tengahnya saat pembekuan.

Penyebabnya antara lain :

- Terlalu cepatnya laju pembekuan
- Terjadi reaksi deoksidasi
- Kontaminasi

Terbentuknya crater ini dapat diminimalisir dengan memperhandal kemampuan las bagi operator dan membuat cembung pada tiap-tiap lasan. untuk gambar crater sendiri dapat dilihat pada gambar 2.19.





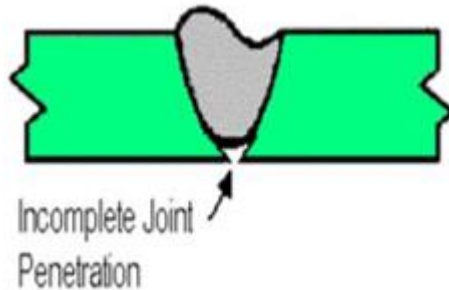
**Gambar 2.19 Bentuk Dari Crater**

#### **2.13.8 Lack of Penetration**

*Lack of Penetration* adalah penetrasi yang tidak benar pada *weld metal* melalui sambungan atau *weld metal*-nya sehingga tidak memungkinkan untuk memenuhi seluruh kedalaman *joint root*. Efek dari cacat jenis ini dapat menginisiasi tegangan yang dapat membuat retak. Penyebab dari cacat jenis ini antara lain :

- a. *Root gap* terlalu kecil
- b. *Travel speed* yang terlalu tinggi
- c. *Heat input* yang terlalu rendah
- d. Terlalu lebarnya diameter elektroda

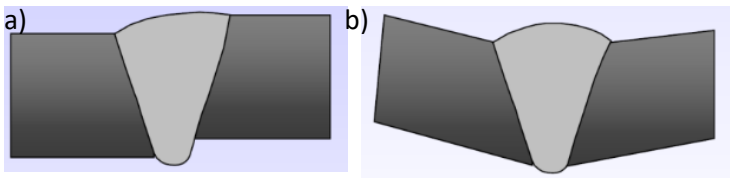
Untuk mencegah cacat jenis ini adalah dengan mempersiapkan dengan baik sambungan sebelum di las, merencanakan *heat input* dan *travel speed* dengan baik dan menggunakan electrode yang cocok. Untuk ilustrasi dari cacat jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.20.



**Gambar 2.20 Lack of Penetration**

#### **2.13.9 Misalignment**

*Misalignment* adalah bentuk sambungan yang tidak lurus tidak bergaris. Berdasarkan jenisnya terdapat 2 jenis *misalignment* yaitu *linear misalignment* dan *angular misalignment*. *Linear misalignment* adalah sambungan yang tidak lurus diukur dari pelat yang paling bawah terhadap *bead cap* yang paling tinggi. Sedangkan *angular misalignment* adalah sambungan yang tidak lurus diukur dari sudut yang terbentuk dari kedua pelat. Ilustrasi dari cacat ini dapat dilihat pada gambar 2.21. cacat ini biasanya terjadi akibat preparasi yang kurang baik dan penjepitan yang terlalu kuat saat pengelasan.

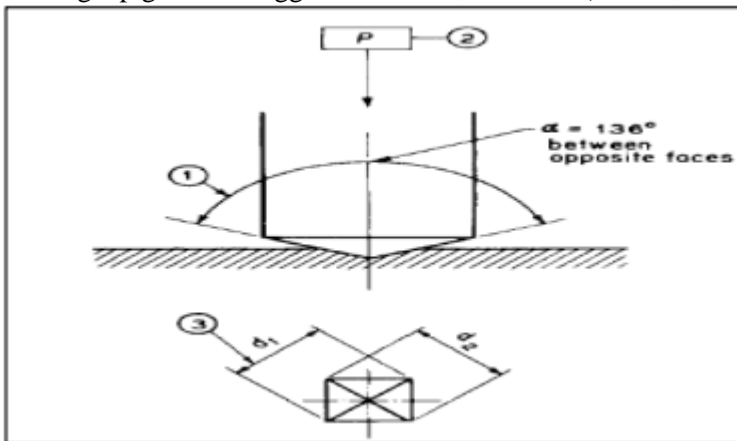


**Gambar 2.21 a.) Linear Misalignment b.) Angular Misalignment**



## 2.14 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan dengan menggunakan indenter berupa piramida segi empat beraturan intan lalu kemudian diukur hasil kekerasan material dengan mengukur diagonal yang terbentuk pada permukaan material. Beban yang digunakan ada pada rentang 1-120kgf (ASTM, 1999). Piramida intan yang digunakan menggunakan sudut apex sebesar  $136^\circ$ . Sudut apex merupakan sudut yang dibentuk oleh muka dari indenter (Callister, 2007). Alat yang digunakan adalah mesin pengujian dan juga indenter. Mesin pengujian yang digunakan harus mampu memberikan beban pada permukaan material secara bertahap. Selain kedua alat diatas, terdapat pula mikroskop yang digunakan untuk melakukan observasi hasil indentasi dan kemudian mengukur kekerasan. Mikroskop yang digunakan harus bisa menangkap gambar hingga ketelitian 0,0005 mm (ASTM,1999)

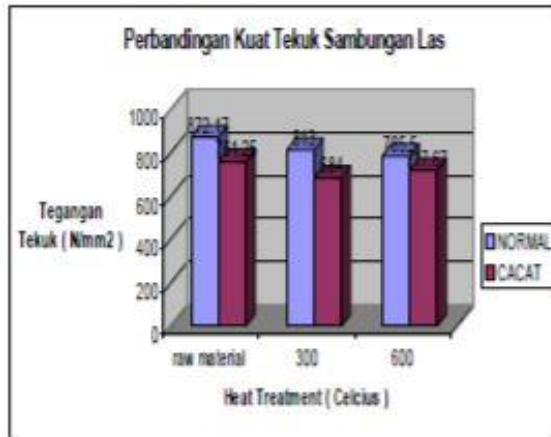


**Gambar 2.22 Indenter pengujian *Vickers* (ASTM,1999)**



### 2.15 Penelitian Sebelumnya

- Penelitian yang dilakukan oleh Ir. Imam Pujo dkk yang meneliti tentang analisa dampak cacat dan incomplete penetration terhadap kekuatan sambungan Las SMAW pada Marine Plate ST 42. Penelitian ini menggunakan pengujian radiografi, ultrasonic test, dan pemotretan struktur mikro (metallografi). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan seberapa besar pengaruh cacat porositas dan incomplete penetration terhadap kekuatan sambungan las, dan juga bertujuan untuk mencari kondisi hasil sambungan las yang optimal pada paduan baja karbon rendah ST 42 secara mekanik. Metode pada penelitian ini adalah melakukan pengelasan dengan metode SMAW, kemudian dilakukan perlakuan panas 300°C, 600°C, dan tanpa perlakuan panas. Hasil uji Tarik sambungan las pelat ST 42 dalam kondisi normal (tidak cacat) adalah tanpa perlakuan panas bernilai, 464,50 MPa, perlakuan panas 300°C bernilai 456,43 MPa, dan perlakuan panas 600 °C bernilai 450,25 MPa. Hasil uji tarik sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas tanpa perlakuan panas (raw material) bernilai 362,91 MPa, perlakuan panas 300 °C bernilai 391,34 MPa, dan perlakuan panas 600 °C bernilai 351, 23 MPa. Dari hasil perbandingan dua kondisi pelat tersebut yaitu, pelat dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan pelat dalam kondisi cacat, baik itu cacat incomplete penetration maupun cacat porositas, didapatkan suatu kesimpulan bahwa kekuatan tarik pelat normal lebih baik (lebih tinggi) daripada dalam kondisi cacat. Dan dari pemberian perbedaan perlakuan panas pun pelat normal lebih tinggi dari pada pelat kondisi cacat



**Gambar 2.23 Perbandingan Kuat Tarik Sambungan Las dengan Kondisi Normal dan Kondisi Cacat**

- Penelitian yang dilakukan oleh Alfian Wahyu Prasetya dkk yang meneliti pengaruh debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45. Pada penelitian ini menggunakan variasi debit gas pelindung yaitu 12 liter/menit, 15 liter/menit, dan 18 liter/menit kemudian variasi tegangan listrik 25 volt, 28 volt, dan 31 volt. Proses pengelasan menggunakan mode *transfer spray* dengan variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik yang berada dalam rentang parameter yang direkomendasi pabrikan mesin las. Pengujian kualitas sambungan yang dihasilkan menggunakan metode pengujian kekerasan mikro Vickers dengan pembebanan 100gf, *dwell time* 10 s, dan indentor piramida intan dengan sudut 1360. dan pengamatan struktur mikro. Hasil menunjukkan mayoritas tingkat kekerasan dan struktur mikro mengalami perubahan pada daerah *weld metal*, dan HAZ meningkat seiring dengan bertambahnya debit gas pelindung pada tingkat voltase yang sama seperti pada spesimen 25 Volt dengan debit gas 12

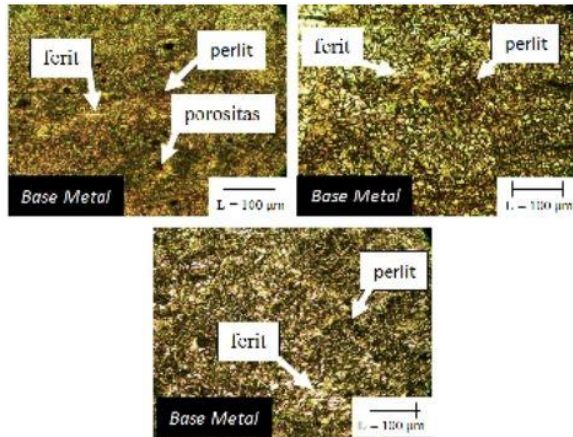


Liter/menit, 15 Liter/menit, dan 18 Liter /menit adalah 245 kg/mm<sup>2</sup>, 260 kg/mm<sup>2</sup>, 277 kg/mm<sup>2</sup> (weld metal) dan 270 kg/mm<sup>2</sup>, 273 kg/mm<sup>2</sup>, 311 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ). Tingkat kekerasan menurun seiring peningkatan tegangan listrik yaitu 28 volt pada debit gas 12 Liter/menit, 15 Liter/menit, dan 18 Liter /menit adalah sebesar 277 kg/mm<sup>2</sup>, 266 kg/mm<sup>2</sup>, 261 kg/mm<sup>2</sup> (weld metal) dan 311 kg/mm<sup>2</sup>, 300 kg/mm<sup>2</sup>, 296 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ). Tingkat kekerasan naik seiring dengan kenaikan voltase 31 volt dengan debit gas 12 Liter/menit, 15 Liter/menit, dan 18 Liter /menit sebesar 245, 260, 261 (weld metal) dan 270 kg/mm<sup>2</sup>, 290 kg/mm<sup>2</sup>, 296 kg/mm<sup>2</sup> (HAZ).

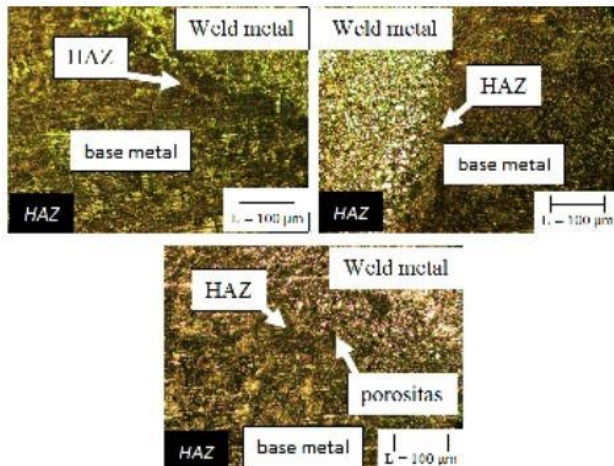
Struktur mikro weld metal pengelasan 25 volt debit gas 12 liter/menit, 25 volt debit gas 15 liter/menit, dan 25 volt debit gas 18 liter/menit mengalami peningkatan fasa perlit. Peningkatan debit gas pelindung menghasilkan fasa perlit yang lebih banyak, hal ini dikarenakan suhu yang dicapai saat proses pengelasan meningkat. Semakin tinggi debit gas pelindung yang digunakan maka panas yang dicapai akan meningkat (Suheni, Harijanto Isnani, dan Permana Ekky, 2015), dan meningkatkan pembentukan fasa perlit. Pada variasi 25 volt debit gas 12 Liter/menit terdapat lubang-lubang kecil akibat porositas, hal ini karena adanya oksigen yang masuk ke kampuh las disebabkan debit gas pelindung yang terlalu kecil. Di daerah HAZ juga terdapat lubang porositas akibat debit gas yang kecil sehingga tidak bisa melindungi kampuh las dari oksidasi. Weld metal dengan variasi pengelasan 25 volt debit gas 15 liter/menit memiliki fasa perlit yang lebih banyak dari variasi sebelumnya, hal ini disebabkan busur listrik yang dihasilkan lebih stabil. Debit gas yang lebih besar dari variasi sebelumnya berakibat reaksi ionisasi pada busur listrik berjalan lebih baik sehingga busur listrik yang dihasilkan lebih stabil. Daerah HAZ memiliki ukuran butir yang paling halus sama dengan variasi sebelumnya namun tidak ditemukan lubang porositas karena debit gas yang dipakai sudah memadai. Busur listrik yang stabil disebabkan pemakaian



debit gas pelindung yang besar namun pada daerah weld metal yang berdampingan dengan HAZ terdapat lubang porositas. Lubang porositas disebabkan debit gas yang terlalu besar yang tidak diimbangi dengan voltase, hal ini menyebabkan gas pelindung menarik oksigen dari luar.



**Gambar 2.24 Struktur mikro weld metal pengelasan 25 volt debit 12 Liter/menit, 25 volt 15 Liter/menit, dan 25 volt 18 Liter/menit**



**Gambar 2.25 Struktur mikro HAZ pengelasan 28 volt debit 12 liter/menit, 25 volt 15 liter/menit, dan 25 volt 18 liter/menit**

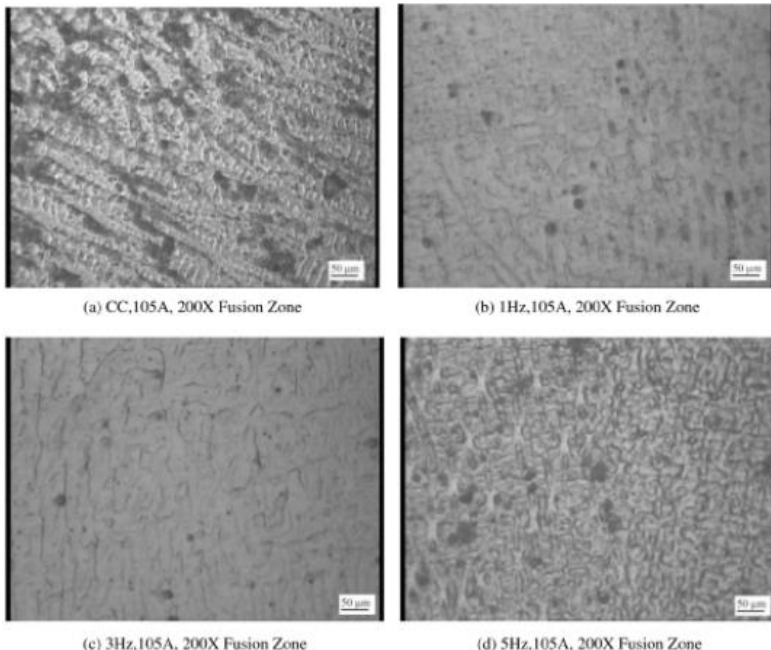
- Penelitian yang dilakukan oleh Chakravarthy dkk yang meneliti efek dari arus *pulse* terhadap sifat mekanik dari material pipa CuNi 70/30 dengan ketebalan plat 5mm dengan metode GTAW secara manual dan menggunakan filler metal ERCuNi. Desain pengelasan menggunakan V-joint. Sebelum dilakukan pengelasan, dibersihkan terlebih dahulu menggunakan *acetone*. Variabel yang digunakan pada saat pengelasan adalah menggunakan arus *Continuos Current* (CC) sebesar 100 Ampere dan *Pulsed Current* (PC) dengan *peak current* sebesar 210 ampere dan *base current* sebesar 105 Ampere, pembagian waktu antara *peak current* dan *base current* sebesar 50%. Pada pengelasan arus *pulse current* besar variabel *pulse frequency* adalah 1Hz, 3 Hz, dan 5 Hz. Pengujian pada penelitian ini adalah pengujian mikrostruktur, pengujian *microhardness*, dan uji tarik.





Pada pengujian mikrostruktur, dilakukan pengamatan secara *cross-section*. Langkah-langkahnya adalah spesimen terlebih dahulu di-*polish* menggunakan *Emery papers* untuk menghilangkan *scratches* dan kemudian di-etsa menggunakan larutan *Glacial Acetic* dan *Nitric Acid* dengan perbandingan 1:1 setelah itu dilakukan pengamatan mikrostruktur. Hasil dari pengamatan mikrostruktur ditunjukkan pada gambar 2.26.

Mikrostruktur di weld metal metode *Pulsed Current (PC)* tersebut terbentuk *equiaxed grains*, sedangkan di weld metal metode *continuous current (CC)* tidak terbentuk *equiaxed grains*.



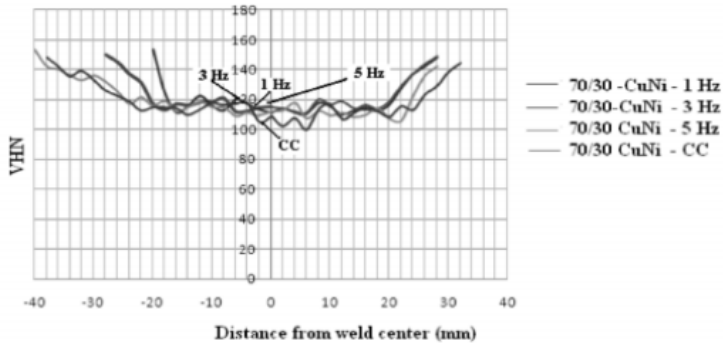
**Gambar 2.26 Mikrostruktur dari weld metal paduan CuNi 70/30 (a.) CC (b.) PC 1Hz (c.) PC 3Hz (d.) PC 5 Hz**



Pada pengujian *microhardness*, semua metode (PC) dan (CC) nilai kekerasan yang berada pada *fusion zone* lebih rendah daripada *basemetal*. Pada pengerasan presipitasi paduan Cu, sifat mekanik dari *weld zone* bergantung dari presipitasi ketika siklus termal pengelasan, itulah sebabnya mengapa nilai kekerasan pada *fusion zone* lebih rendah daripada nilai kekerasan pada *basemetal*. Kekerasan *fusion zone* tertinggi terdapat pada frekuensi 3 Hz. Frekuensi yang lebih rendah menghasilkan efek siklus thermal partikel Cu dan Ni yang terdispersi secara homogen dibagian *weldzone*, dimana *grain size* dan presipitat tumbuh lebih lambat ketika proses pengelasan.

**Tabel 2.10 Micro Hardness dibagian weldzone**

70/30 CuNi Alloy welds	Pulse Frequency / CC	Micro-hardness VHN
1	1 Hz	110.1
2	3 Hz	114.3
3	5 Hz	109.5
4	CC	108.3
5	BM	140.0

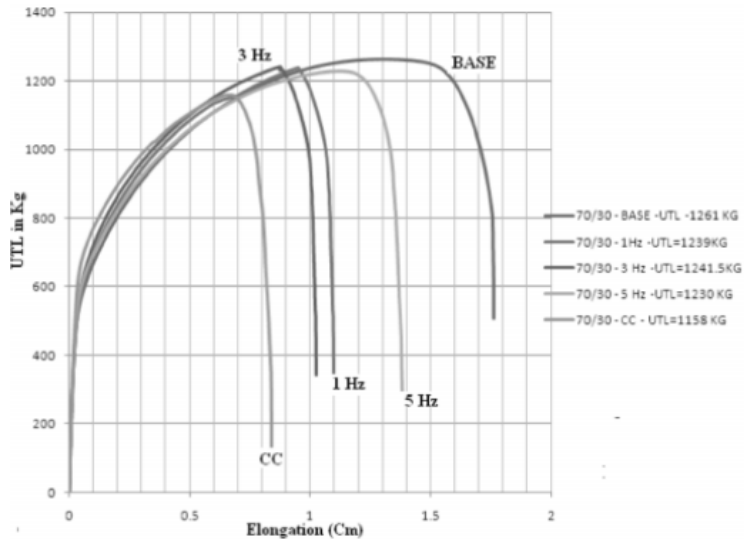


**Gambar 2.27** Profil *mikro hardness* dari *weldzone* material CuNi 70/30 dengan perbedaan *Pulse frequency* (1Hz, 3Hz, 5Hz) dan *Continuous Current*

Pada uji tarik pada material pengelasan CuNi 70/30 dengan perbandingan antara *Continuous Current* dan *Pused Current* menunjukkan hasil bahwa kekuatan paling tinggi dari *weldzone* adalah pada pengelasan dengan *Pulsed Current* frekuensi 3 Hz. Perbedaan kekuatan ini bergantung dari *arc stability* yang ditunjukkan mikrostruktur yang dominan di daerah *fusion zone*

**Tabel 2.11** Sifat Mekanik Kekuatan dari material pengelasan CuNi 70/30

S. No.	Base/Pulse frequency (Hz)/CC	Ultimate Tensile strength(N/mm <sup>2</sup> )	% Elongation
1	Base material	412.3	13.3
2	1 Hz	405.1	10.9
3	3 Hz	406.0	11.0
4	5 Hz	402.2	12.8
5	CC	378.6	8.4

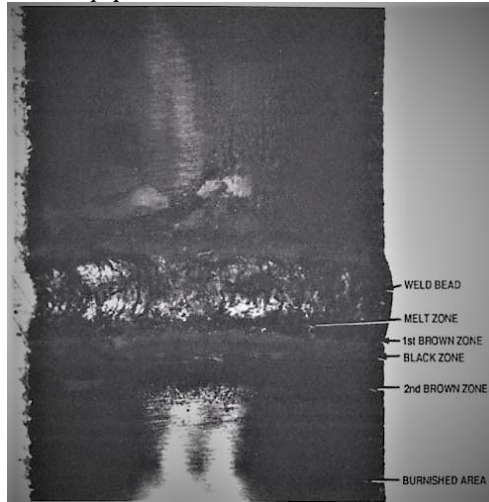


**Gambar 2.28 Profil Kekuatan Tarik dari Material Las CuNi 70/30 dengan metode *Pulsed Current* dan *Continuous Current***

- Penelitian yang dilakukan oleh R.N Lee dkk yang meneliti komposisi kimia pipa 90/10 tembaga nikel setelah dilakukan pengelasan metode GTAW yang dilas menggunakan *filler metal* ECuNi. Spesimen pengelasan mempunyai dimensi diameter 43 mm dan ketebalan 2,4 mm. Desain pengelasan dengan V-joint dan dibersihkan dengan 100-grit *silicon carbide paper* menggunakan arus 50 sampai 150 Ampere. Spesimen dilapisi dengan *bakelite epoxy*, dipolish dengan 1,0 mikrometer aluminium oksida, dietsa menggunakan 50% HNO<sub>3</sub> sehingga lasan bisa diamati secara melintang. Penampang luar dan dalam pesimen diamati menggunakan SEM/EDS spectrometer dan SAM (Scanning Auger Microprobe). Kontaminasi spesimen dari minyak dan oli diminimalisir menggunakan air *deionisasi* ditambah pembersih methanol untuk membersihkan air. Terdapat penambahan spesimen dengan memotong sampel di



ujung pinggir *weld area* yang segaris dengan titik tengah *weld area* untuk menghasilkan data EDS secara kuantitatif. Hasil dari pengamatan ini ditampilkan secara visual di (a.) *weld bead* (b.) *melt zone* (c.) *first brown zone* (d.) *black zone* (e.) *second brown zone* (f.) *burnished pipe*.



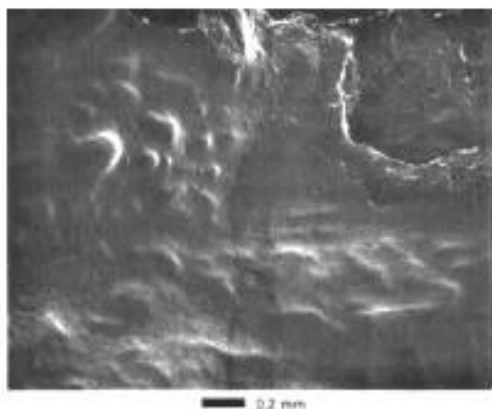
**Gambar 2.29 Pembagian Daerah Hasil Las**

- (a.) Di bagian *weld bead* bagian dalamnya berwarna hitam, berpori-pori, dengan tembaga terkonsentrasi di bagian permukaannya. Karbon terkonsentrasi 50 persen lebih tinggi di *weld bead* daripada di daerah *burnished*. Oksigen yang diprediksi terkonsentrasi maksimum di *weld bead*, malah terkonsentrasi minimum. Nitrogen juga terkonsentrasi tinggi di bagian *weld bead*. Bagian dalam *weld bead* tidak terekspose oleh atmosfer selama pengelasan dan diprediksi memiliki komposisi yang sama dengan 70/30 filler tembaga nikel. Di pinggir *weld bead* konten mangan lebih dari 8 kali titanium. Tidak ada unsur Besi (Fe) di bagian *weld bead*.



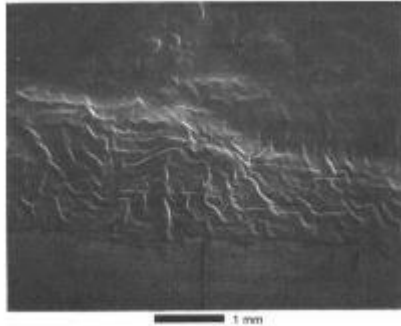
**Tabel 2.12 Persentase Unsur berdasarkan Hasil EDS**

EDS Results	Burnished Area	Brown Zone No. 2	Black Zone	Brown Zone No. 1	Melt Zone	Weld Bead Edge	Weld Bead Surface
Cu	88.2	69.0	96.6	73.3	98.3	13.7	98.6
Ni	8.4	25.0	1.3	20.9	0.5	2.5	0.6
Fe	1.5	3.6	0.5	2.9	0.1	—	—
Si	1.4	1.5	1.4	1.7	1.1	12.1	0.8
Mn	0.5	0.9	0.2	0.3	—	53.5	—
Al	—	—	—	0.6	—	4.7	—
Ti	—	—	—	—	—	12.9	—
Cr	—	—	—	—	—	0.6	—

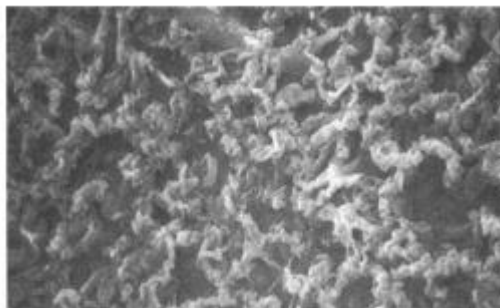


**Gambar 2.30 Perbesaran gambar *weld bead* dan *melt zone***

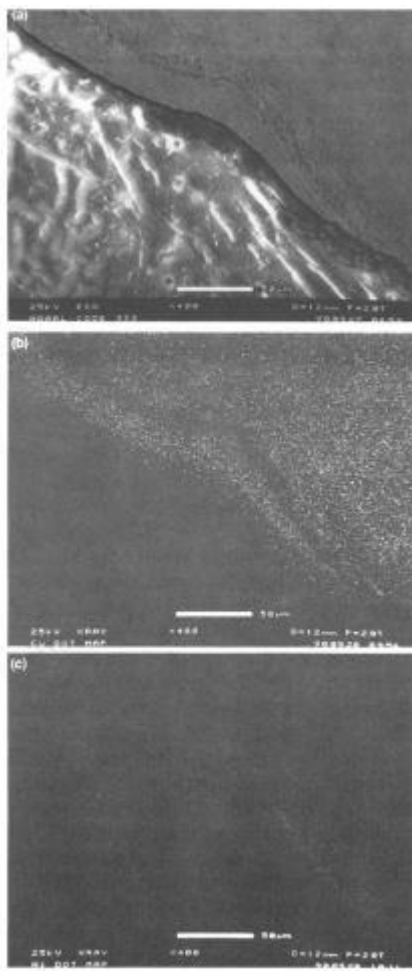
- (b.) *Melt zone*, memiliki ukuran lebih beberapa beberapa milimeter dibanding dengan ujung pinggir *weld bead*. Batas antara *melt zone* dan *weld bead* terjadi pelelehan. Mikrostruktur *melt zone* berupa *granular*, berserat yang terlapisi secara substrat. Di bagian *meltzone* sangat kaya akan tembaga, dan sangat minim sekali nikel.



**Gambar 2.31** Scanning Electron Mikrografi dari *weld bead, melt zone, dan first brown zone*

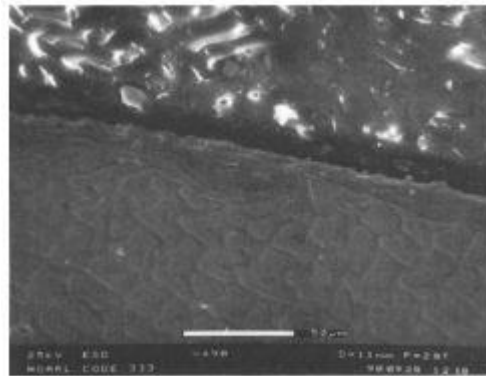


**Gambar 2.32** Mikrostruktur Permukaan di *Melt zone*



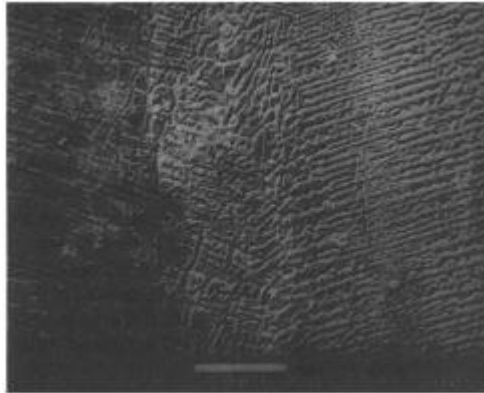
**Gambar 2.33 a. Potongan melintang di *melt zone*,  
menunjukkan ketebalan dari lapisan permukaan. b.  
EDS dot map untuk Tembaga c. EDS dot map untuk  
nikel**



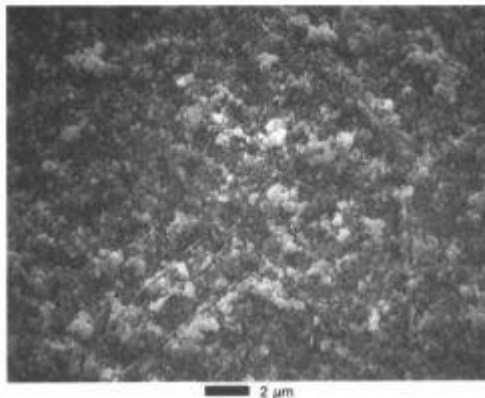


**Gambar 2.34 Potongan melintang potongan external dari *Butt Weld***

- (c.) *First Brown Zone*, dengan ketebalan 1,5 mm memiliki komposisi yang paling bervariasi. *First brown zone* ini mengalami pelelehan, dilihat dari batas yang tajam antara *melt zone* dan *melt zone* terdapat tanda batas aliran *molten pipe* sepanjang permukaan *molten pipe*. Terdapat perbedaan *grain size* antara *melt zone* dan *first brown zone*, dan permukaan dari *first brown zone* ini berbentuk granular. Nikel dan copper memiliki komposisi tiga kali lebih banyak dibandingkan *parent metal*-nya. Konsentrasi Nikel tertinggi berada di dua *brown zone* ini (*first brown zone* & *second brown zone*). Besi (Fe) memiliki kandungan tertinggi di *first brown zone*.



**Gambar 2.35** binary solidifikasi diantara *melt zone* dan *first brown zone*

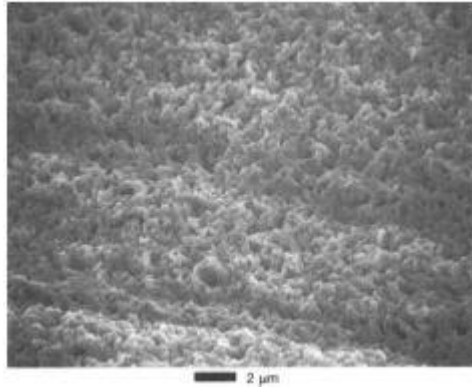


**Gambar 2.36** Mikrostruktur permukaan dari *first brown zone*

- (d.) *black zone* memiliki lebar 3mm. Permukaan *black zone* terdiri dari lubang (poros) kontinu yang bersatu. Ukuran partikel dari *black zone* lebih homogen daripada *firstblackzone*. *Blackzone*

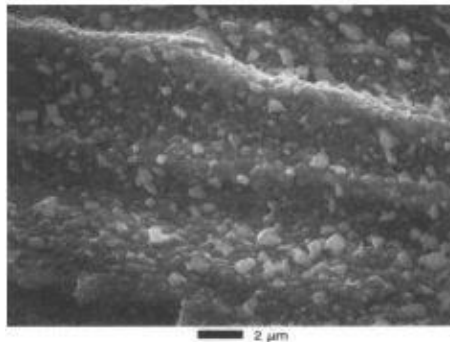


memiliki struktur permukaan yang hampir sama *meltzone*, dimana jumlah Nikel dan besi menurun drastis. Terjadi dominasi karbon yang tinggi dan oksigen yang minimum di *blackzone*



**Gambar2.37 struktur permukaan di *black zone***

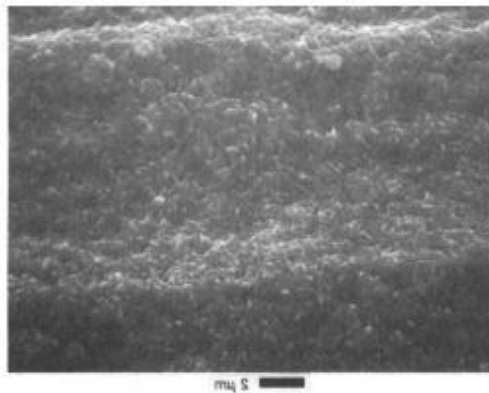
(e.) *second brown zone* memiliki ketebalan 2.5 mm, punya batas dengan *burnished area*. Merupakan transisi dari *black zone*, memiliki konsentrasi tembaga yang minimum dan konsentrasi besi yang maksimum.



**Gambar 2.38 Struktur Mikro Pemukaan Second Brown Zone**



- (f.) *Burnished Area* merupakan area terluar dari *second brown zone* dan tidak memiliki karakteristik warna yang dibuktikan melalui reaksi kimia. Secara mikrografi, tidak ada indikasi batas yang jelas antara *second brown zone* dengan tidak terjadi material pipa yang tidak bereaksi. Dari Spektrum Auger, oksigen dan tembaga memiliki puncak yang tinggi.



**Gambar 2.39 Struktur Mikro Burnished Area diluar *second brown zone***

Tembaga dan nikel memiliki sifat saling melarutkan ketika dipadu disepanjang komposisi fasa *liquid* dan *solid*. Paduan hanya bervariasi hanya secara rasio antara tembaga dan nikel. Area yang kaya akan tembaga (*weld bead*, *melt zone*, dan beberapa zona *adherent flakes*) diindikasikan sebagai memiliki temperatur oksidasi yang tinggi dibandingkan dengan nikel. Area yang kaya akan nikel sebagian besar sangat *adherent*, bagian yang kaya akan tembaga hilang dari permukaan karena *mechanical shock*. Konsentrasi tembaga di

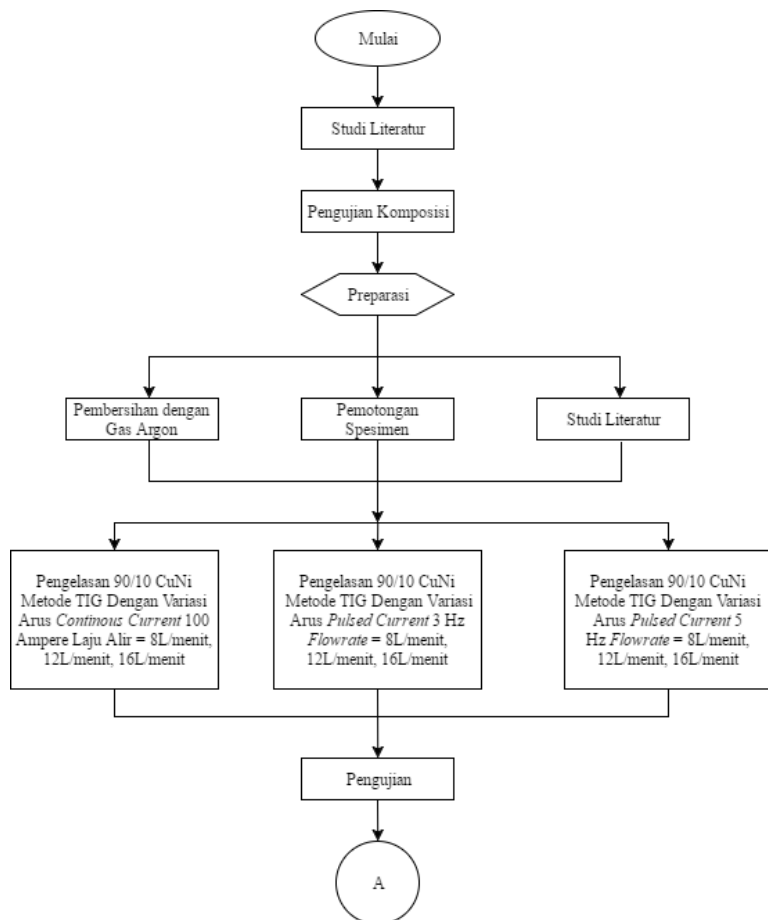


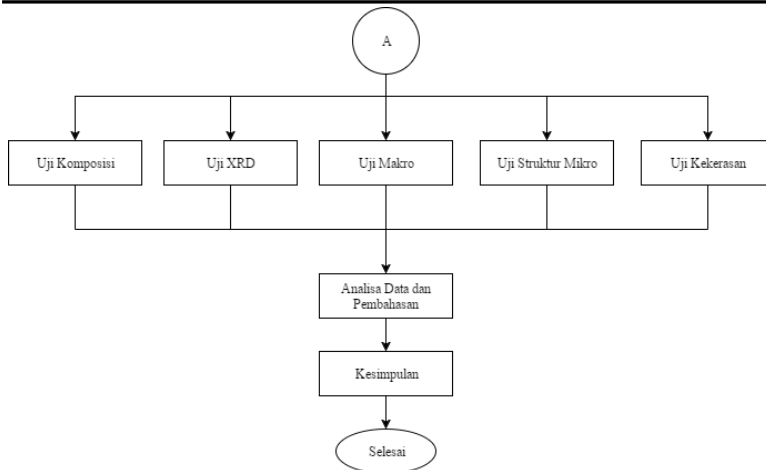
permukaan *weld bead*, *melt zone*, dan *surface flakes* berjalan tidak konsisten sesuai harapan berdasarkan diagram fase *binary*. Fasa diagram tidak menampilkan perilaku tembaga, nikel, atau karbida yang terbentuk dari adanya oksigen dan kontaminan lain didalam pipa selama proses panas. Proses ketika pengelasan 90/10 CuNi dengan *filler* 70/30 CuNi terbilang kompleks. Pertama temperatur *melting* dari 70/30 lebih tinggi 7 persen dibanding 90/10 CuNi. Ketika *weld metal* mulai terbentuk, seharusnya leleh dari 90/10 CuNi harus berdampingan dengan lelehan 70/30 CuNi *filler metal*. Jika pencampuran difusi tidak muncul secara signifikan, solidifikasi seharusnya terjadi pertama kali di 70/30 CuNi seiring dengan solidifikasi 90/10 CuNi ditinjau dari lapisan lasnya. Jika solidifikasi secara *binary* muncul, dua solidifikasi area muncul secara berlawanan arah dan bertemu di beberapa titik ditinjau dari lapisan las itu sendiri, yang dilihat dari lapisan lasnya yang diberi epoxy yang berada di butt weld.

Korelasi yang kuat antara karbon dan oksigen muncul di udara dan material ketika pengelasan karena efek dari lingkungan secara kimiawi di HAZ. Deposit karbon dari oli dan minyak terdekomposisi oleh airlaut yang mengalir dan menimbulkan cacat pitting dalam beberapa hari.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**

### 3.2 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian pada penelitian hasil pengelasan material Cu-Ni C70600 adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1 Rancangan Penelitian**

Material	Parameter		Pengujian			
	Arus (A)	<i>Flowrate</i> (liter/menit)	Makro	Metalografi	XRD	Kekerasan
CuNi 90/10	CC 100	8	✓	✓	✓	✓
		12	✓	✓	✓	✓
		16	✓	✓	✓	✓
	PC 3 hz	8	✓	✓	✓	✓
		12	✓	✓	✓	✓
		16	✓	✓	✓	✓
		8	✓	✓	✓	✓



	PC 5 hz	12	✓	✓	✓	✓
		16	✓	✓	✓	✓

Keterangan : CC = *Constant Current*  
PC = *Pulsed Current*

**Tabel 3.2 Jadwal Penelitian**

	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Konsultasi Kepada Pembimbing																
Penyusunan Laporan																
Preparasi Spesimen																
Proses Pengelasan TIG																
Pengujian Komposisi																
Pengujian XRD																
Pengujian Makro																
Pengujian Metalografi																
Pengujian Kekerasan																





### 3.3 Parameter Pengelasan

**Tabel 3.3 Parameter Pengelasan**

<i>Constant Current</i>		<i>Pulsed Current</i>	
Voltage	16 V	voltage	16 V
Flow Rate	8 L/menit, 12 L/menit, 16 L/menit	Flow Rate	8 L/menit, 12 L/menit, 16 L/menit
Current	100 A	Peak Current	133,3 A
Welding speed	10cm/menit	Base Current	66,7 A
		Pulse Frequency	3 hz, 5 hz
		Welding speed	10 cm/menit

Perhitungan arus impulsed :

$$\text{Rata-rata arus (Iav)} = \frac{Ip \times Tp + Ib \times Tb}{Tp + Tb} \text{ ampere}$$

$Ip$  peak current (ampere)

$Ib$  base current (ampere)

$Tp$  peak current duration (ms)

$Tb$  base current duration (ms)

Pada penelitian ini digunakan kriteria soft pulsed current, yaitu perbandingan pulse current duration dan base current duration adalah 50% dengan rasio perbandingan antara *peak current* dan *base current* sebesar 2 : 1, digunakan rata-rata arus sebesar 100 ampere

$$100 \text{ ampere} = \frac{Ip \times Tp + Ib \times Tb}{Tp + Tb}, Ip = 2Ib \quad Tp = 50\% \quad Tb = 50\%, \text{ jadi}$$

$$100 \text{ ampere} = \frac{2Ib \times 0,5 + Ib \times 0,5}{0,5 + 0,5} \text{ ampere}$$

$$100 \text{ ampere} = \frac{Ib + 0,5 Ib}{1} \text{ ampere}$$



$$100 \text{ ampere} = 1,5 \text{ Ib}$$

$$Ib = 66,7 \text{ ampere}$$

$$Ip = 2 \text{ Ib}$$

$$Ip = 2 \times 66,7 \text{ ampere}$$

$$Ip = 133,3 \text{ ampere}$$

Perhitungan heat input :

$$\begin{aligned} \text{Heat Input arus konstan} &= \frac{V \times I}{S} \times \eta \\ &= \frac{16 \times 100}{1,67 \text{ mm/s}} \times 0,6 \\ &= 574 \text{ Joule/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Heat input arus impulsed} &= \frac{\text{power} \times \text{arc time}}{\text{weld bead length}} \times \eta \\ &= \frac{V \times I_{av} \times \text{arc time}}{\text{weld bead length}} \times \eta \\ &= \frac{16 \text{ V} \times 100 \text{ A} \times 60 \text{ sekon}}{100 \text{ mm}} \times 0,6 \\ &= 574 \text{ Joule/mm} \end{aligned}$$

### 3.4 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode studi lapangan dengan menggunakan data dari kondisi aktual di lapangan. Kemudian literatur dengan melakukan pencarian informasi melalui buku penunjang, *handbook*, jurnal, standar internasional dan sumber lain yang menunjang informasi yang ada. Selain itu juga digunakan metode pengujian yang diantaranya adalah uji makro, uji komposisi, uji XRD, uji metalografi, dan uji kekerasan.

### 3.5 Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Base metal

Material yang digunakan sebagai *base metal* adalah *Cupro Nickel* dengan komposisi sebagai berikut :



**Tabel 3.4 Komposisi Cu Ini C70600 atau ekuivalen (AWS, 2012)**

Material	Komposisi		
	Cu	Ni	Fe
C 70600	87	10	1,4

**Tabel 3.5 Sifat Mekanik Cu Ni (AWS,2012)**

Sifat mekanik		
Tensile Strength(MPa)	% elongasi	Hardness (HV)
350	35	60

**Tabel 3.6 Dimensi Pipa Cu Ni C70600**

Material	Dimensi (dalam mm)		
	Panjang	Diameter	Tebal
C70600	2000	101,6	2.6

### 3.4.2 Filler Metal

Filler yang digunakan pada penelitian kali ini adalah ER CuNi, dengan komposisi adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.7 Komposisi Filler ER CuNi (AWS, 2012 )**

Filler Metal	Komposisi (dalam %wt)								
	Cu	Ni	Pb	Fe	Zn	Mn	Si	P	Ti
ER CuNi	Re m	29,0-32,0	0,02	0,40-0,75	-	1,0	0,25	0,02	0,2-0,5

**Tabel 3.8 Sifat Mekanik Filler ER CuNi (AWS, 2012 )**

Material	Sifat Mekanik (pada temperatur kamar)		
	UTS (Mpa)	% elongasi	Hardness (HV)
ER Cu-Ni	380	35	60

## 3.6 Peralatan Penelitian



Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah

1. Mesin Las GTAW

Mesin las yang digunakan untuk melakukan pengelasan pada spesimen.



**Gambar 3.2 Mesin Las GTAW**

2. *Cut Off Machine*

Digunakan untuk melakukan pemotongan pada spesimen pengelasan, dan menggerinda spesimen pengelasan yang bertujuan untuk meratakan permukaan spesimen uji



**Gambar 3. 3 Cut Off Machine**

3. Penggaris



---

Digunakan untuk mengukur spesimen uji dan uji makro



**Gambar 3. 4 Penggaris**

4. Kamera  
Digunakan untuk mendokumentasikan setiap kegiatan selama penelitian.



**Gambar 3.5 Kamera Saku**

5. Kertas Amplas Grade 80-2000



Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen uji dan menghilangkan beberapa *scratch* yang muncul pada permukaan lalu kemudian menyearahkan *scratch*



**Gambar 3.6 Kertas Amplas**

6. Mesin Metal Polish

Digunakan untuk memberi finishing pada hasil grinding permukaan spesimen uji sebagai preparasi uji metalografi dengan memberikan padatan metal polish



**Gambar 3.7 Mesin Metal Polish**



**Gambar 3.8 *Metal Polish* merek Autosol**

7. Larutan Etsa Nomor 89 pada ASTM E 407  
Digunakan untuk melakukan etsa pada spesimen uji sebelum dilakukan uji metalografi
8. Mikroskop Optik  
Digunakan untuk mengamati struktur mikro logam dengan rentang perbesaran 100-500 kali



**Gambar 3.9 Mikroskop Optik**

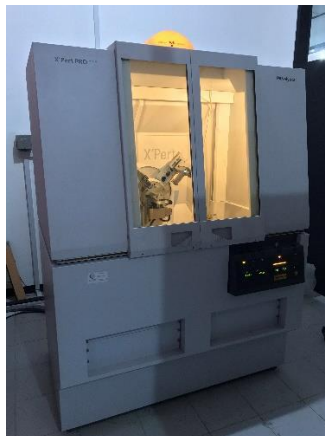
9. Mesin Uji *Micro-Hardness*  
Digunakan untuk melakukan pengujian sifat mekanik spesimen yaitu kekuatan spesimen



**Gambar 3.10 Mesin Uji Microhardness**

#### 10. *X-Ray Diffraction*

Digunakan untuk melakukan uji senyawa



**Gambar 3.11 Alat *X-Ray Diffraction***

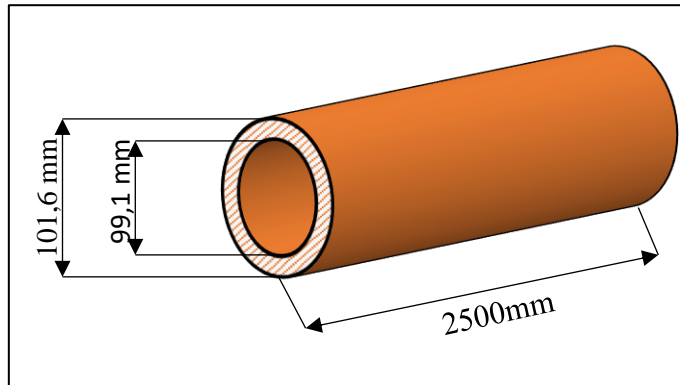


### 3.6 Tahapan Penelitian

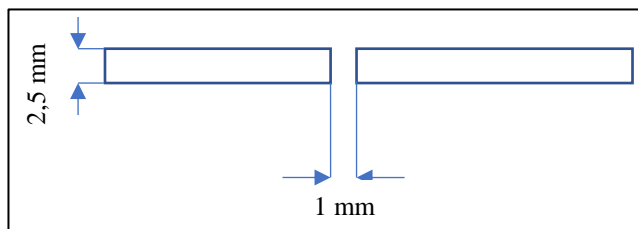
Dalam melakukan penelitian ini, tahap-tahap yang dilakukan adalah :

#### 1. Persiapan

Pada tahap ini, persiapan yang dilakukan adalah penentuan parameter pengelasan berdasarkan literatur yang ada, kemudian mengatur ukuran dan mendesain spesimen pengelasan sesuai parameter.



**Gambar 3.12 Ukuran Pipa**



**Gambar 3.13 Desain Pengelasan Spesimen**



---

2. Preparasi Spesimen

Setelah dilakukan proses persiapan dengan memotong spesimen dan mendesain spesimen sesuai parameter pengelasan, kemudian dilakukan proses preparasi spesimen terlebih dahulu yaitu membersihkan spesimen dari pengotor menggunakan sikat baja untuk menghindari adanya inklusi pengotor saat proses pengelasan

3. Proses Pengelasan

Kegiatan yang dilakukan pada saat proses pengelasan diantaranya adalah melakukan pengaturan mesin las *GTAW* sesuai parameter las pada tabel 3.3 dengan variasi arus *constant current* 100 Ampere, arus *pulsed current* 3 Hz, arus *pulsed current* 5 Hz dan variasi *Flowrate* gas pelindung argon sebesar 8 liter/menit, 12 liter/menit, & 16 liter/menit.

4. Pengujian Spesimen

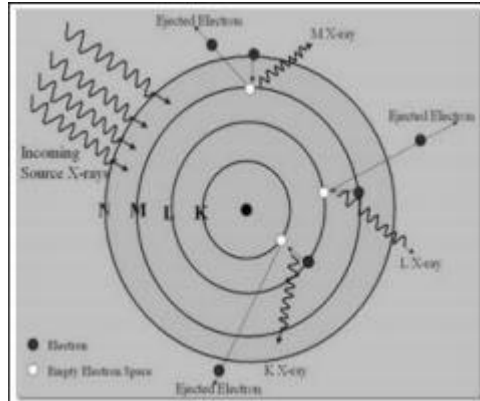
Sebelum dilakukan pengujian dilakukan machining agar sesuai standar pengujian. Alat yang digunakan untuk machining adalah gerinda, mesin bubut, amplas, dan mesin metal polish. Setelah dilakukan machining kemudian dilakukan pengujian sebagai berikut :

a. Pengujian Komposisi Kimia

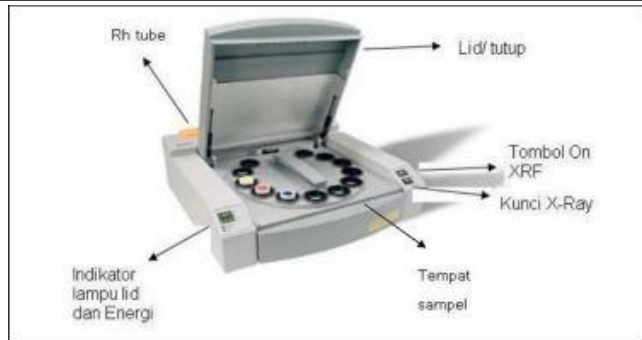
Teknik yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia adalah metode XRF. Apabila tabung sinar X atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar X dapat diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik.



Selama proses ini, bila sinar X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar X dihasilkan dari proses yang disebut X Ray Flourescence (XRF). Proses deteksi dan analisa emisi sinar X disebut analisa XRF. Adapun material yang dianalisa meliputi : padat, cair, powder, filtered, atau dalam bentuk lain (Patty, 2013). Pengujian XRF dilakukan di Robotech dengan menggunakan alat uji Panalytical Minipal 4. Ukuran spesimen yang diperlukan adalah tidak melebihi ukuran tempat sampel pada mesin.



**Gambar 3. 14 Prinsip Kerja XRF (Patty, 2013)**



**Gambar 3.15 Panalytical Minipal 4 (Patty, 2013)**

- b. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada spesimen uji setelah dilakukan variasi proses pengelasan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Langkah-langkah pengujian XRD adalah sebagai berikut:
1. Memotong spesimen uji menggunakan gerinda.
  2. Meratakan permukaan yang akan diamati terlebih dahulu menggunakan kertas amplas ataupun gerinda.
  3. Melakukan pengujian di tiga bagian las, yaitu di *weld metal*, *fusion line*, dan *base metal*
- c. Pengujian Makro
- Pengujian Makro dilakukan dengan menggunakan kamera saku (*Pocket Camera*). Pengujian ini bertujuan untuk mengamati secara visual hasil pengelasan yang telah dilakukan sesuai dengan parameter las yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera saku kemudian menghitung lebar, tinggi,



---

dan luas *weld metal* dari gambar potongan melintang yang dihasilkan dari pengelasan yang telah dilakukan. Pengukuran lebar dan tinggi hasil lasan menggunakan jangka sorong, dan pengukuran luas menggunakan *software* pada komputer yaitu "*Image J*". Langkah-langkah dalam menghitung luas menggunakan *software Image J* adalah sebagai berikut :

1. Membuka *software "Image J"* pada komputer
2. Pada bilah menu, pilih File > Open, pilih file yang akan dihitung luasnya. Memastikan terdapat spesimen & penggaris dalam satu gambar. Penggaris digunakan untuk mengkonversi skala dari format *pixel* ke milimeter
3. Pilih tool *Line*, kemudian membuat garis diatas gambar skala penggaris. Pada pengujian ini, dibuat garis sepanjang 5 mm yang tertera pada gambar skala garis
4. Pada bilah menu, pilih *Analyze >Set Scale*. Muncul kotak dialog *Set Scale*, pada menu isian "Known Distance" diisi besar skala yang baru saja dibuat menggunakan garis diatas gambar skala penggaris tadi yaitu "5". Pada menu isian "*Unit of Length*" diisi skala dari standar yang kita ukur, yaitu "milimeter", setelah itu klik kotak dialog "OK"
5. Pilih tool *Polygons Selection*, kemudian membuat garis yang melingkari dari bagian yang ingin diukur luasnya, yaitu di bagian *weld metal*
6. Pada bilah menu, pilih *Analyze >Measure*
7. Muncul tabel berbagai macam hasil perhitungan, salah satunya adalah "*Area*" atau



---

luas dari garis yang melingkari objek yang ingin kita ukur tadi yaitu dibagian *weld metal*

d. Pengujian Metalografi

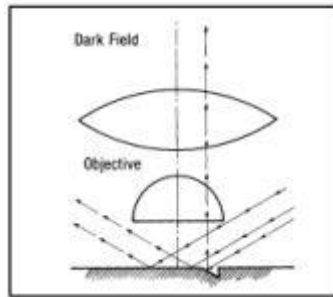
Pengujian struktur mikro atau yang biasa disebut dengan metalografi adalah pengujian yang dilakukan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah mikroskop optik. Dengan dibantu oleh perbesaran pada alat mikroskop optik, serta adanya faktor cahaya yang dipantulkan ke arah mata seperti pada gambar 3.17, maka akan terlihat struktur mikro dari spesimen uji tersebut. Struktur mikro yang terlihat dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan dilakukan pada struktur mikro yang terbentuk adalah dengan memperhatikan pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikro. Setelah melakukan pengamatan struktur mikronya, kemudian melakukan perhitungan ukuran butir di bagian *weld metal* di tiap spesimennya menggunakan Metode *Jeffries* sesuai dengan standar ASTM E-112

Pengujian dilakukan di Lab. Metalurgi Departemen Teknik Material ITS. Tahapan yang dilakukan untuk pengujian struktur mikro hasil pengelasan menggunakan mikroskop cahaya dengan variasi perbesaran adalah :

1. Pemotongan spesimen (*crosscut*) secara melintang pada area lasan, menjadi bagian yang lebih kecil
2. Menghaluskan permukaan menggunakan kertas amplas *grade 500cc*, *1000cc*, dan *1500cc*
3. Proses *polishing* menggunakan *polisher machine* dengan media kain bludru



4. Proses mikro etsa dengan larutan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan etsa kode 34 dengan komposisi 5gr  $\text{FeCl}_3$ , 50 ml HCl, dan 100ml aquades. Proses etsa dapat digunakan dengan cara dicelup maupun diusap selama beberapa detik sampai beberapa menit.
5. Perbesaran yang dilakukan adalah 100x, 200x, dan 500x



**Gambar 3.16 Arah Cahaya Pada Pengujian Metalografi**

- e. Pengujian Hardness  
Pengujian kekerasan (*hardness test*) adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah *base metal*, *heat affected zone*, dan *weld metal*. Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Standar pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode *vickers* berdasarkan ASTM E92. Pengujian ini dilakukan menggunakan *Wolpert Wilson Digital Hardness Tester 3000BLD* yang terdapat pada Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS.

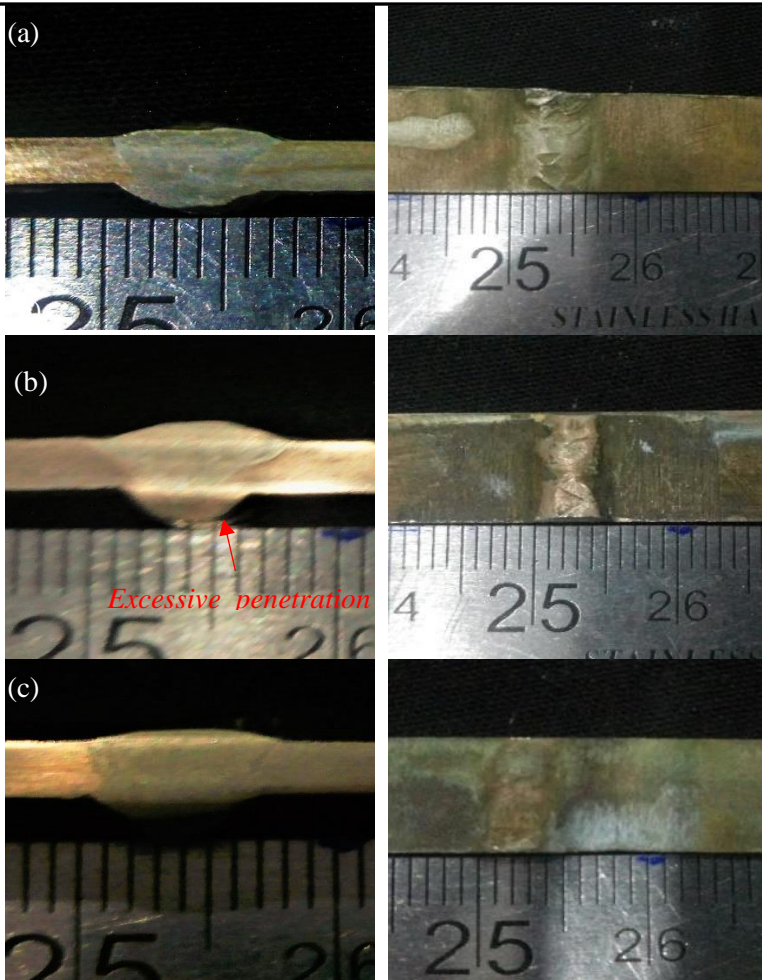
## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Proses Hasil Visual Makro Pengelasan Material CuNi 90/10**

Proses pengelasan dilakukan pada paduan tembaga nikel 90/10 menggunakan elektroda ERCuNi dengan menggunakan variasi arus *continous current* 100 A, arus *pulsed current* 3 Hz, arus *pulsed current* 5 Hz dan *flowrate* gas pelindung argon 8L/menit, 12 L/menit, dan 16 L/menit. Untuk mengamati hasil visual makro, terlebih dahulu digerinda, dihaluskan menggunakan kertas amplas, dilakukan menggunakan *metal polish*, kemudian dilakukan pengetsaan menggunakan etsa nomor 40 berdasarkan ASTM E-407. Pada permukaan *cross section*-nya untuk mengetahui bagian *weld metal*, *fusion line* dan *base metal*. Setelah dilakukan pengetsaan, kemudian dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera saku (*pocket camera*). Berikut ini merupakan hasil pengamatan visual makro pengelasan material CuNi 90/10. Pada keterangan gambar, FG 8 menunjukkan variasi *flowrate* gas pelindung argon sebesar 8 L/menit, FG 12 menunjukkan variasi *flowrate* gas pelindung argon sebesar 12 L/menit, dan FG 16 menunjukkan variasi *flowrate* gas pelindung argon sebesar 16 L/menit. CC menunjukkan variasi arus *continous current* 100 A, PC 3 menunjukkan variasi arus *pulsed current* 3 Hz, dan PC 5 menunjukkan variasi arus *pulsed current* 5 HZ.





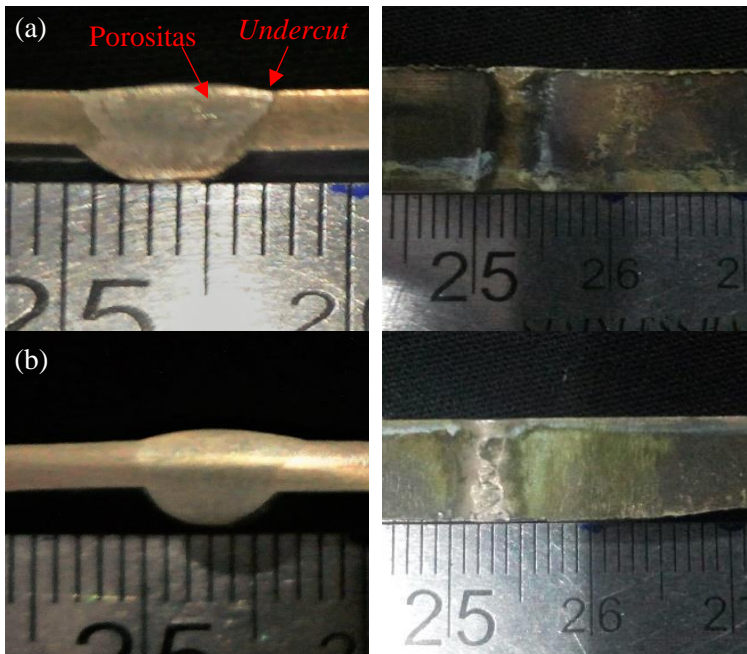
**Gambar 4.1 Hasil Foto Makro Pengelasan CuNi 90/10**

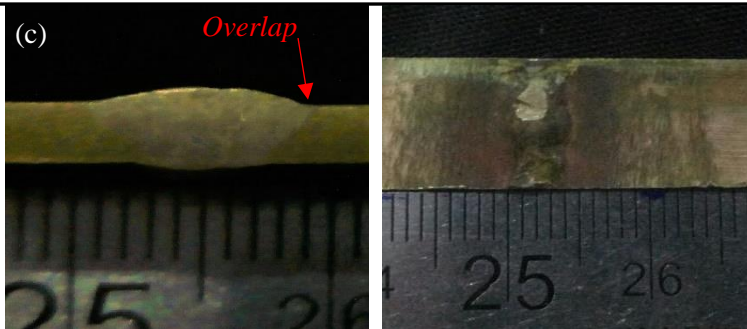
**a.) FG 8 – CC b.) FG 8 - PC 3 c.) FG 8 - PC 5**

Gambar 4.1(a) menunjukkan hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan *flowrate* gas pelindung argon 8L/menit dan arus *continous current* 100 Ampere. Terlihat hasil lasan yang baik, tidak ada cacat,



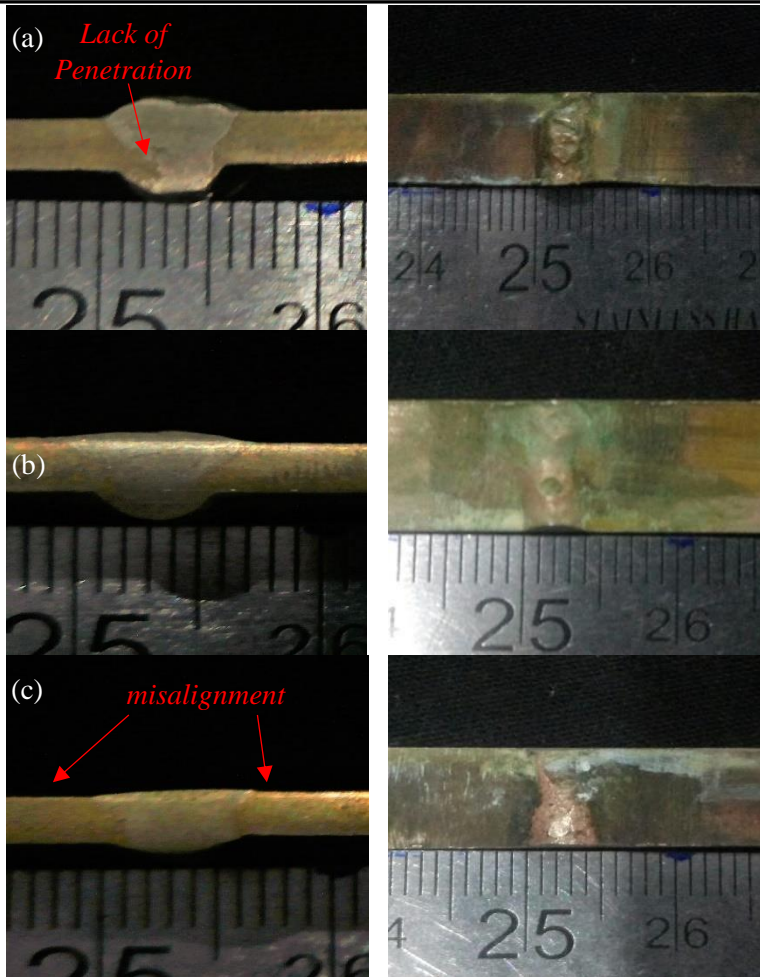
*weld metal* berdifusi dengan baik dengan *base metal*. Gambar 4.1 (b) adalah hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit dan arus *pulsed current* 3 Hz. Terlihat ada *excessive penetration* di bagian bawah lasan, disebabkan karena kesalahan pengelasan yaitu jarak antar *butt*-nya yang terlalu pendek. Gambar 4.1 (c.) menunjukkan hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan *flowrate* gas pelindung argon 16L/menit dan arus *pulsed current* 5 Hz. Terlihat hasil lasan yang baik, tidak ada cacat pada pengelasan tersebut.





**Gambar 4.2 Hasil foto makro pengelasan CuNi 90/10  
(a.) FG 12 – CC (b.) FG 12 – PC 3 (c.) FG 12 - 5**

Gambar 4.2 (a.) adalah hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan *flowrate* gas pelindung argon 12 L/menit dan arus *continuous current* 100 Ampere. Terlihat adanya porositas, *undercut* dibagian pinggir *cap*-nya, disebabkan karena ketika pengelasan, ayunan tangan kurang merata, waktu ayunan pada saat disamping terlalu cepat. Gambar 4.2 (b) menunjukkan hasil proses pengelasan CuNi menggunakan *flowrate* gas pelindung argon 12L/menit arus *pulsed current* 3 Hz. Terlihat logam lasan sudah menyatu dengan baik dengan *base metal*. Gambar 4.2 (c) menunjukkan hasil proses pengelasan *flowrate* gas pelindung argon 12L/menit arus *pulsed current* 5 hz. Terdapat sedikit *overlap* dibagian *cap* pojok kanan atas, disebabkan karena sudut pengelasan yang kurang tepat saat proses pengelasan.



**Gambar 4.3 Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi 90/10 (a.) FG 16 – CC (b.) FG 16 - PC 3 (c.)FG 16 - PC 5**

Gambar 4.3 (a) menunjukkan hasil proses pengelasan CuNi menggunakan *flow rate* gas pelindung argon 16 L/menit *continuous current* 100 Ampere. Terlihat ada *lack of penetration*



dimana logam las cair di sebelah kiri belum begitu meleleh sempurna karena preparasi yang kurang sempurna yaitu masih terdapat kotoran sebelum dilakukan pengelasan. Gambar 4.3 (b.) menunjukkan hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit dan arus *pulsed current* 3 Hz. Menunjukkan hasil pengelasan yang sudah baik, tidak ada cacat pada hasil dari pengelasan tersebut. Gambar 4.3 (c.) menunjukkan hasil pengelasan CuNi menggunakan *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit *pulsed current* 5 Hz. Terlihat hasil yang hampir merata dibagian *cap*-nya disebabkan karena pada saat busur listrik (*arc*) melelehkan logam, terjadi tekanan oleh *flowrate* gas pelindung argon yang menyebabkan permukaan *cap* lebih merata, dan *missalignment* karena penjepitan yang kurang presisi ketika dilakukan pengelasan.(M.S. Roger, 2003)

Berdasarkan hasil pengamatan makro, dapat terlihat daerah *weld metal*, *fusion line*, dan daerah *base metal*, sedangkan daerah HAZ tidak terbentuk pada pengelasan ini sehingga secara visual tidak terlihat dan hanya ada *fusion line*. Selain itu terdapat beberapa cacat yang dialami oleh masing-masing spesimen seperti yang telah dijelaskan diatas.

Berdasarkan hasil pengamatan makro yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 – 4.3 terlihat bahwa semakin tinggi *flowrate* gas pelindung argon yang mengalir maka semakin kecil lebar daerah hasil lasan, juga tinggi dari hasil lasan tersebut nilainya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju alir gas pelindung maka busur listrik yang dihasilkan antara elektroda dan logam induk akan semakin halus dan stabil sehingga hasil lasan semakin halus (Sanuri Ebru Prasetyo, 2016).

Dari hasil pengamatan makro tersebut, dilakukan juga pengukuran lebar, tinggi, serta luas dari *weld metal* yang terbentuk sebagai akibat dari variabel penelitian yang digunakan. Pengukuran lebar dan tinggi pengelasan menggunakan mikrometer sekrup, sedangkan untuk menghitung luasan menggunakan *software* ImageJ karena bentuk hasil lasan yang tidak simetris sehingga membutuhkan bantuan *software* dalam menghitung luas

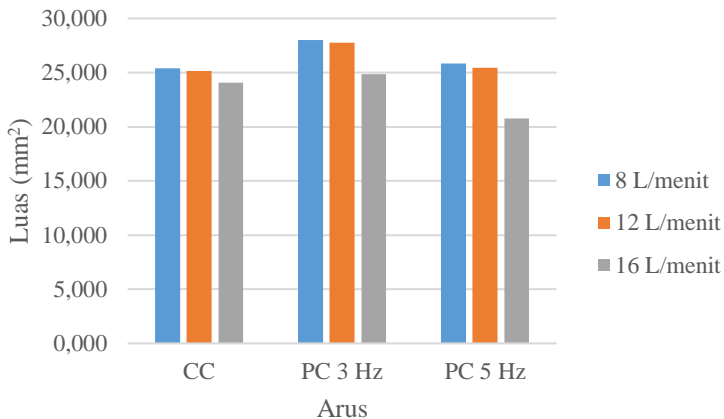


daerah lasannya. Hasil pengukuran lebar, tinggi, dan luasan dari *weld metal* ditunjukkan pada tabel 4.1

**Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Pada *Weld Metal* Pengelasan  
CuNi 90/10**

No.	Variasi	Lebar(mm)	Tinggi(mm)	Luas(mm <sup>2</sup> )
1.	CC 100 A - 8L/menit	7.093	4.824	25.397
2.	CC 100 A - 12L/menit	6.961	4.755	25.125
3.	CC 100 A - 16L/menit	6.123	5.374	24.056
4.	PC 3 Hz - 8L/menit	8.455	5.827	28.008
5.	PC 3 Hz - 12L/menit	7.611	4.912	27.739
6.	PC 3 Hz - 16L/menit	7.395	4.832	24.861
7.	PC 5 Hz - 8L/menit	7.440	4.520	25.829
8.	PC 5 Hz - 12L/menit	8.438	3.929	25.428
9.	PC 5 Hz - 16L/menit	6.903	3.805	20.772

Dari hasil pengukuran diatas didapatkan grafik luasan pada daerah *weld metal* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 :



**Gambar 4.4 Grafik Pengaruh *Flowrate* Gas Pelindung Argon Terhadap Luasan *Weld Metal***

Dari gambar 4.4, ditunjukkan bahwa luasan *weld metal* pada pengelasan dengan variasi arus *continous current*, *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit sebesar 25,397 mm<sup>2</sup>. Kemudian pada pengelasan variasi *continous current*, *flowrate* gas pelindung argon 12 L/menit luasan *weld metal* yang dihasilkan mengalami penurunan dengan luas sebesar 25,125 mm<sup>2</sup>, dan kemudian luasan *weld metal* yang dihasilkan mengalami penurunan lagi pada pengelasan variasi arus *continous current*, *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit dengan luas sebesar 24,056 mm<sup>2</sup>. Pada pengelasan *pulsed current* 3 Hz *flowrate* 8 L/menit luasan *weld metal* yang dihasilkan sebesar 28,008 mm<sup>2</sup>, kemudian luasan *weld metal* yang dihasilkan pada pengelasan *pulsed current* 3 Hz *flowrate* 12 L/menit mengalami penurunan dengan luas sebesar 27,739 mm<sup>2</sup>, dan mengalami penurunan lagi pada luas yang dihasilkan pada pengelasan *pulsed current* 3 Hz *flowrate* 16 L/menit dengan luas sebesar 24,861 mm<sup>2</sup>. Pada Pengelasan dengan variasi *pulsed current* 5 Hz *flowrate* 8 L/menit luasan *weld metal* yang dihasilkan sebesar 25,829 mm<sup>2</sup>, dan kemudian mengalami





penurunan luas *weld metal* pada pengelasan *pulsed current* 5 Hz *flowrate* 12 L/menit dengan luas sebesar 25,428 mm<sup>2</sup>, dan kemudian mengalami penurunan luas *weld metal* lagi pada pengelasan *pulsed current* 5 Hz *flowrate* 16 L/menit dengan luas sebesar 20,772 mm<sup>2</sup>.

Dari grafik yang ditunjukkan dari gambar 4.4 tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi *flowrate* gas pelindung argon yang dihasilkan, maka luas *weld metal* yang dihasilkan semakin kecil, hal ini karena semakin tinggi *flowrate* gas pelindung argon pada saat pengelasan, akan membuat busur listrik (*arc*) semakin stabil, busur yang semakin stabil ini menghasilkan panas yang lebih tinggi sehingga *weld metal* yang dihasilkan semakin halus. Hasil dari pengelasan yang semakin halus akan menyebabkan dimensi lebar dan tinggi *weld metal* yang dihasilkan semakin kecil, sehingga luas dari *weld metal* yang dihasilkan semakin kecil pula. (Prasetya, 2017)

## 4.2 Hasil Pengujian Komposisi Spesimen Pengujian Pengelasan

Pengujian komposisi spesimen pengujian pengelasan dilakukan di Robutech menggunakan alat Spectrometer Tembak. Hasil pengujian komposisi spesimen pengujian pengelasan ditampilkan pada tabel 4.2

**Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi Spesimen Pengujian Pengelasan**

	Komposisi (% Wt)							
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Pb
CuNi pipe	0,58	1,11	0,07	10,11	86,32	1,68	0,08	0,01
AWS	1	-	0,5	9 - 11	86,5	0,5	-	0,02

Tabel 4.2 adalah perbandingan antara hasil pengujian komposisi spesimen yang digunakan pada pengelasan dengan base metal CuNi pipe 90/10 dengan standar yang telah ditetapkan oleh American Welding Society. Dari perbandingan tersebut, spesimen





pengelasan yang digunakan telah sesuai dengan komposisi standar American Welding Society. Keseluruhan unsur-unsur pada spesimen pengelasan masih di dalam rentang yang sesuai dengan standar tersebut, walaupun terdapat beberapa unsur pada spesimen pengelasan yang tidak terdapat di dalam standar. Adanya unsur seperti Fe, Co, Maupun Zr muncul akibat dari proses manufaktur penyedia. Untuk komposisi dari *filler metal* yang digunakan sebagai logam pengisi pada *weld metal* ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini.

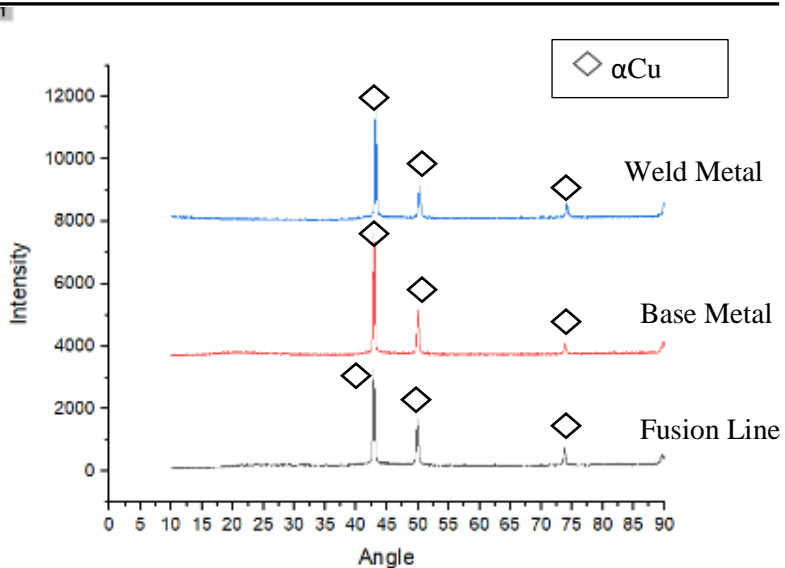
**Tabel 4.3 Komposisi *Filler Metal* ERCuNi**

	Cu	Ni	Ti	Mn	Fe	Si	Zn	P
Produk ERCuNi	Bal	29	0,5	1-2,5	0,4-0,8	0,5	-	0,2
AWS CuNi	>65	29-33	-	1	0,4	-	0,5	0,02

Tabel 4.3 diatas merupakan hasil perbandingan antara *filler metal* dari produk komersil yang dijual di pasaran dengan *filler metal* berdasarkan standar American Welding Society. Secara gari besar unsur-unsur yang terdapat pada produk sesuai dengan standar walaupun terdapat beberapa unsur di dalam produk yang tidak tersedia pada standar seperti Ti, Si yang disebabkan oleh proses manufaktur penyedia.

#### **4.3 Hasil Pengujian XRD**

Pengujian *X-Ray Diffraction* bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada spesimen setelah dilakukan pengelasan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pola hasil pengujian XRD ditunjukkan pada gambar 4.5



**Gambar 4.5 Pola XRD pada Setiap Bagian Lasan**

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengujian XRD yang berada di bagian *weld metal*, *fusion line*, dan *base metal* menggunakan variasi pengelasan dengan arus *pulsed current* 5 Hz dan *flowrate* gas pelindung argon 8L/menit. Terlihat bahwa fasa  $\alpha$ Cu terindikasi pada puncak 2theta, dimana fasa  $\alpha$ Cu yang terbentuk disemua spesimen pada setiap bagian. Pada bagian *weld metal*, *peak* yang terbentuk pada posisi 2theta 42.89 dengan intensitas sebesar 49.96, dan 76.2 dengan bidang (1 1 1), (2 0 0), dan (2 0 2) yang sesuai dengan nomor pdf #96-901-3018. Sedangkan pada bagian *base metal*, *peak* terbentuk pada posisi 2theta 42.89, 49.90, dan 73,3 dengan posisi bidang (1 1 1), (2 0 0), dan (2 0 2) yang sesuai dengan nomor pdf#96-901-3018. Hasil pengujian XRD yang paling sesuai dengan *peak* Cu adalah pada *base metal* kemudian pada *fusion line*, dan yang terakhir pada *weld metal*, yang ditunjukkan dengan intensitas yang terdapat di *base metal* yaitu dengan intensitas sebesar 994.0, 448.5, dan 73.3. Pada

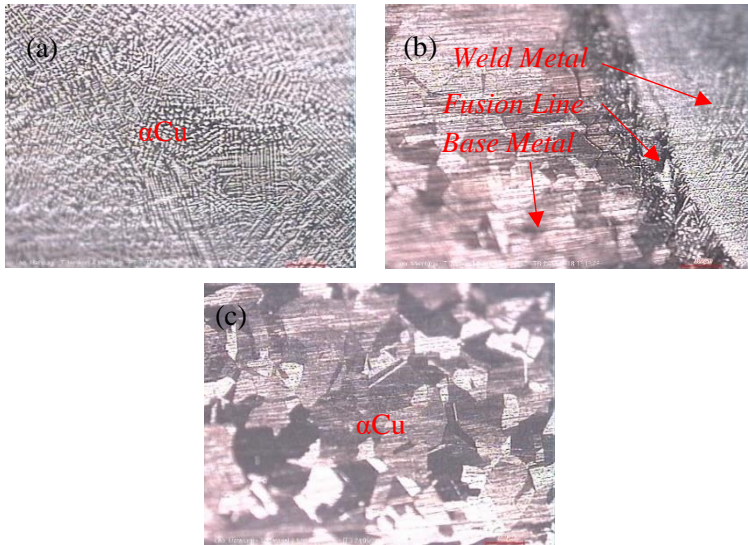


*fusion line* dengan intensitas sebesar 834.3, 122.2, dan 61.1. Intensitas pada *weld metal* sebesar 1033.3, 466.5, dan 152.4. Terdapat perbedaan pada intensitas pada pengujian XRD ini menunjukkan perbedaan sebaran fasa  $\alpha$ Cu pada daerah lasan.

Dari hasil pengamatan XRD, *peak* yang muncul menunjukkan *peak* Cu. *Peak* Ni tidak muncul pada pengujian XRD ini, hal ini dikarenakan karena krisal atom Ni larut secara sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni yaitu *Face Centered Cubic* yang struktur kristal atom sama dengan atom Cu, mempunyai ukuran atom yang hampir sama dengan Cu, sehingga ketika dipadukan, atom Ni dapat menggantikan atom Cu pada struktur kristal sehingga membentuk larutan pada substitusional dengan fasa yang terbentuk adalah fasa  $\alpha$ . Pada fasa  $\alpha$  tersebut, unsur Ni terlarut didalam unsur pelarut Cu, sehingga fasa yang muncul pada pengujian XRD ini yaitu fasa  $\alpha$ Cu karena pada spesimen ini unsur Cu memiliki komposisi yang lebih banyak, menjadikan unsur Cu sebagai pelarut. (Callister, 2007).

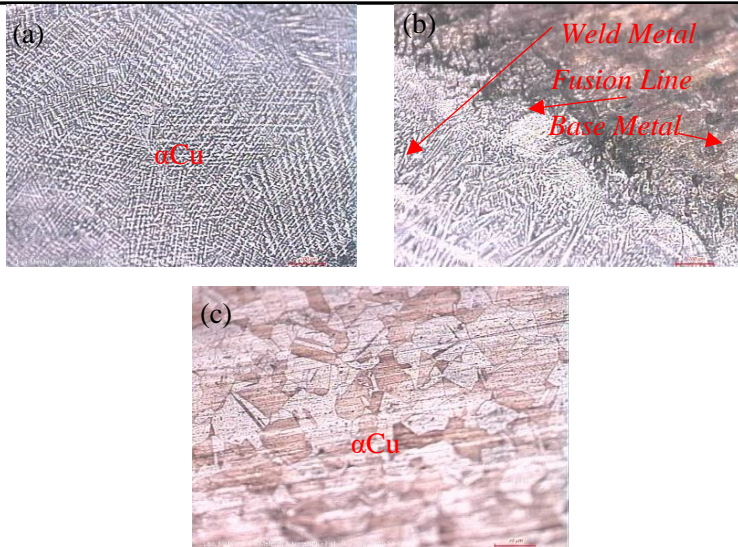
#### 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Hasil dari pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik pada daerah *weld metal*, *fusion line*, dan *base metal* bisa terlihat setelah dilakukan pengetsaan pada masing-masing spesimen dengan menggunakan etsa no.40 pada ASTM E-407. Hasil pengamatan struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.6 – 4.14. Keterangan pada gambar tersebut dijelaskan bahwa CC adalah variasi pengelasan arus *continous current* 100 Ampere, PC 3 adalah variasi pengelasan arus *pulsed current* 3 Hz, dan PC 5 adalah variasi pengelasan arus *pulsed current* 5 Hz. Sedangkan FG 8 menunjukkan variasi pengelasan *flowrate* gas pelindung 8 L/menit, FG 12 adalah variasi pengelasan *flowrate* 12 L/menit, dan FG 16 adalah variasi pengelasan *flowrate* 16L/menit.



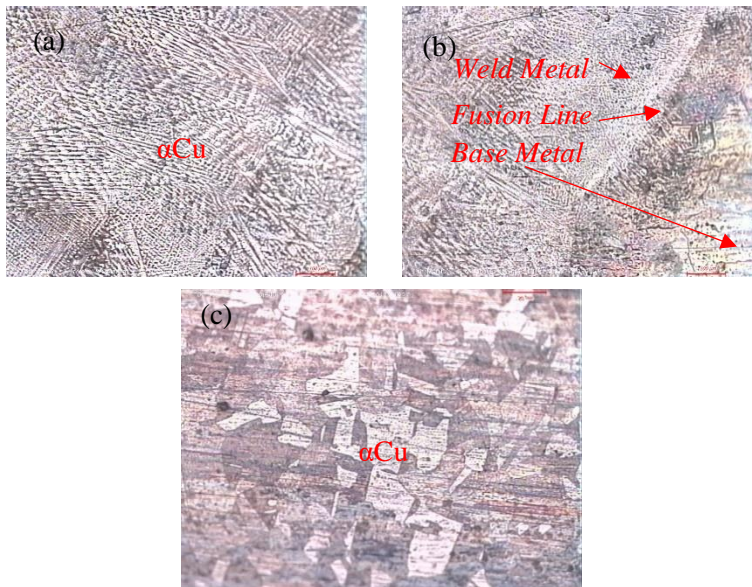
**Gambar 4.6 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG8 Dengan Perbesaran 100 kali (a) Weld Metal (b) Fusion Line (c) Base Metal**

Gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro dari pengelasan arus *constant current* 100 Ampere dengan perbesaran 100 kali yang berada di tiga titik, yaitu Gambar 4.6 (a) menunjukkan struktur mikro di *weld metal*, Gambar 4.6 (b) menunjukkan struktur mikro di *fusion line*, dan Gambar 4.6 (c) menunjukkan struktur mikro di base metal. Terlihat pada gambar tersebut tidak ada HAZ. Fasa yang berada di *weld metal* dan di *base metal* adalah fasa tunggal berupa  $\alpha\text{Cu}$ . Fasa  $\alpha\text{Cu}$  pada *weld metal* berbentuk dendritik, yang berwarna terang adalah fasa yang kaya akan Ni, sedangkan bagian yang berwarna gelap adalah bagian yang kaya akan Cu. Sedangkan fasa  $\alpha\text{Cu}$  pada *base metal* berbentuk poligonal



**Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Struktur mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG12 Dengan Perbesaran 10x (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

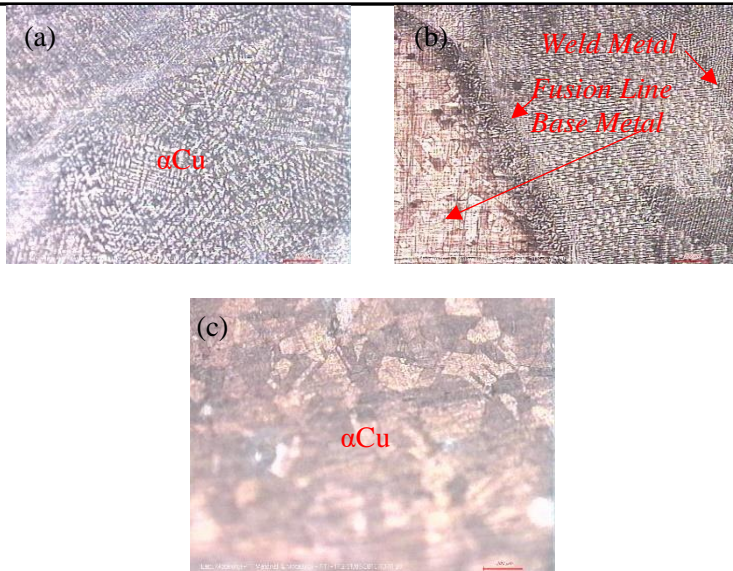
Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari pengelasan variasi arus *continuous current* 100 Ampere dengan *flowrate* gas pelindung argon 12 L/menit. Hasil pengamatan ini dilakukan dengan perbesaran 100 kali. Gambar 4.7 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di *weld metal*, Gambar 4.7 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di bagian *fusion line*, dan Gambar 4.7 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di *base metal*. Dari hasil pengamatan tersebut tidak terlihat adanya HAZ, dan fasa yang terbentuk dari hasil pengelasan di *weld metal* dan *base metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$ , dengan bentuk dendritik di bagian *weld metal* dan poligonal di bagian *base metal*. Pada bagian fasa  $\alpha\text{Cu}$  di *weld metal*, bagian yang terang menunjukkan inti yang kaya akan Nikel, sedangkan bagian gelap merupakan bagian tepi yang kaya akan Tembaga.



**Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 CC - FG16 Persebaran (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

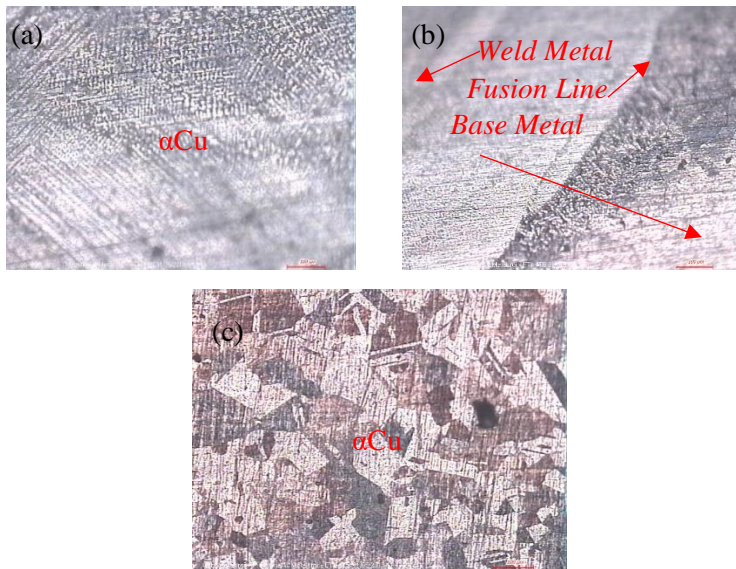
Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi arus *continuous current* 100 Ampere dan *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit dengan gambar perbesaran 100 kali. Gambar 4.8 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di *weld metal*, Gambar 4.8 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di *fusion line*, dan Gambar 4.8 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro di *base metal*. Tidak terlihat adanya bagian HAZ pada pengelasan di variasi ini. Fasa yang terbentuk di *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk dendritik dimana bagian terang merupakan inti yang akan Nikel dan bagian gelap adalah bagian tepi butir yang kaya akan Tembaga. Fasa yang terbentuk di *base metal* pun fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk butir berbentuk poligonal.





**Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC3 - FG8 Dengan Perbesaran 10x (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

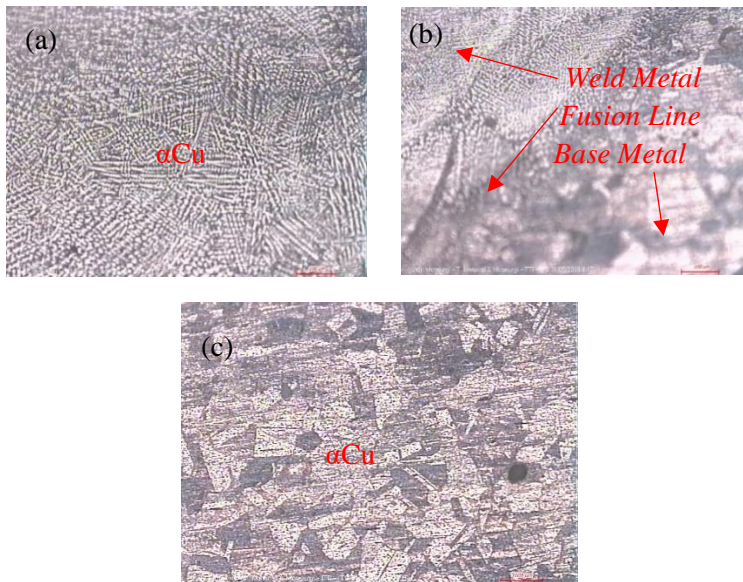
Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi arus *pulsed current* 3 Hz *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit. Perbesaran pada pengamatan struktur mikro ini adalah 100 kali. Gambar 4.9 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada *weld metal*, Gambar 4.9 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada *fusion line*, dan Gambar 4.9 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada *base metal*. Pada pengelasan ini tidak terlihat adanya bagian HAZ. Fasa yang terbentuk di *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  yang berbentuk dendritik, dan fasa yang terbentuk di *base metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  yang berbentuk poligonal. Bagian terang butir yang berada di *weld metal* merupakan inti yang kaya akan Nikel, sedangkan bagian gelap pada butir *weld metal* merupakan bagian yang akan Tembaga.



**Gambar 4. 10 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC3 - FG12 Dengan Perbesaran (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

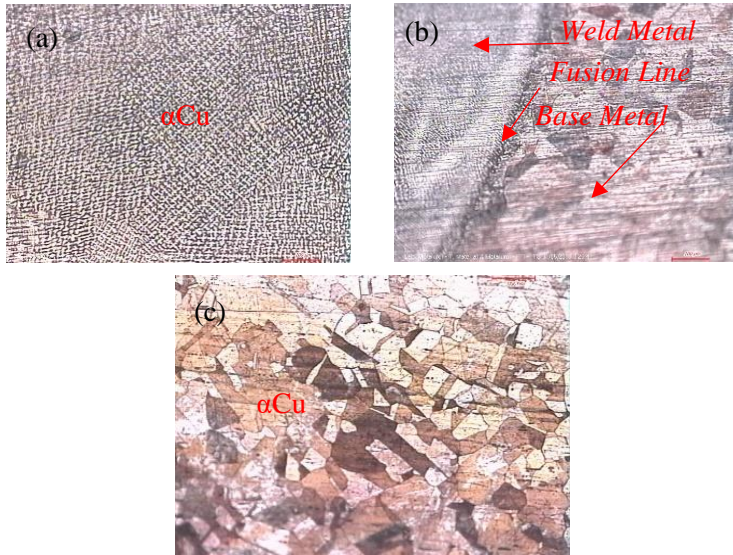
Gambar 4.10 adalah hasil pengamatan struktur mikro pada pengelasan dengan variasi arus *pulsed current* 3 Hz *flowrate* gas pelindung argon 12 L/menit dengan gambar perbesaran 100 kali. Gambar 4.10 (a.) adalah hasil pengamatan struktur mikro pada bagian *weld metal*, Gambar 4.10 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada bagian *fusion line*, dan Gambar 4.10 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada bagian *base metal*. Pengelasan pada variasi ini tidak tampak adanya bagian HAZ. Pada pengelasan ini fasa yang terbentuk pada *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk butir dendritik, dimana bagian yang berwarna terang adalah bagian inti yang kaya akan Nikel, dan bagian yang berwarna gelap adalah bagian tepi butir yang kaya akan Tembaga. Fasa yang terbentuk pada *base metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk butir poligonal.





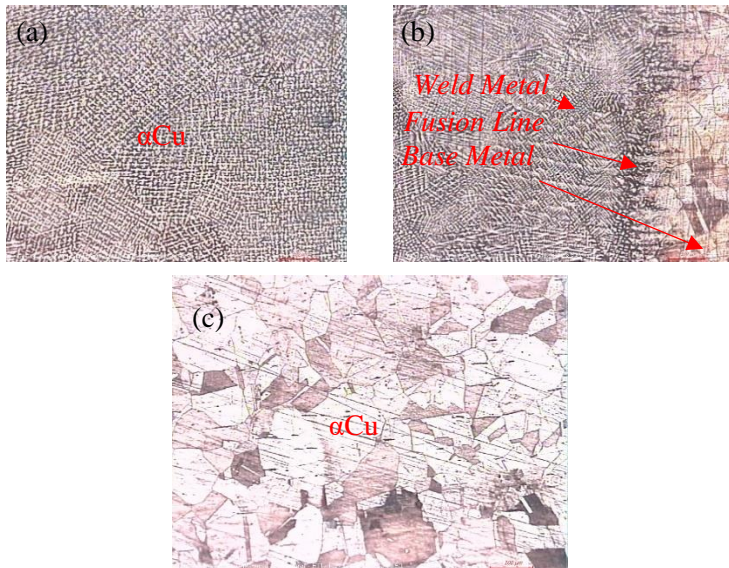
**Gambar 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC3 - 16 Dengan Perbesaran 10x (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

Gambar 4.10 merupakan hasil pengamatan struktur mikro pada pengelasan dengan variasi *pulsed current* 3 Hz dan *flowrate* gas pelindung 16 L/menit. Gambar hasil pengamatan tersebut diambil dengan perbesaran 100 kali. Gambar 4.11 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *weld metal*, Gambar 4.11 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *fusion line*, dan Gambar 4.11 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *base metal*. Pada pengelasan ini tidak tampak adanya bagian HAZ. Fasa yang terbentuk pada bagian *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  yang bentuk butirnya adalah dendritik, dimana bagian terang merupakan inti yang kaya akan Nikel sedangkan bagian gelap merupakan bagian tepi butir yang kaya akan tembaga. Pada bagian *base metal* juga terbentuk fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk butir poligonal.



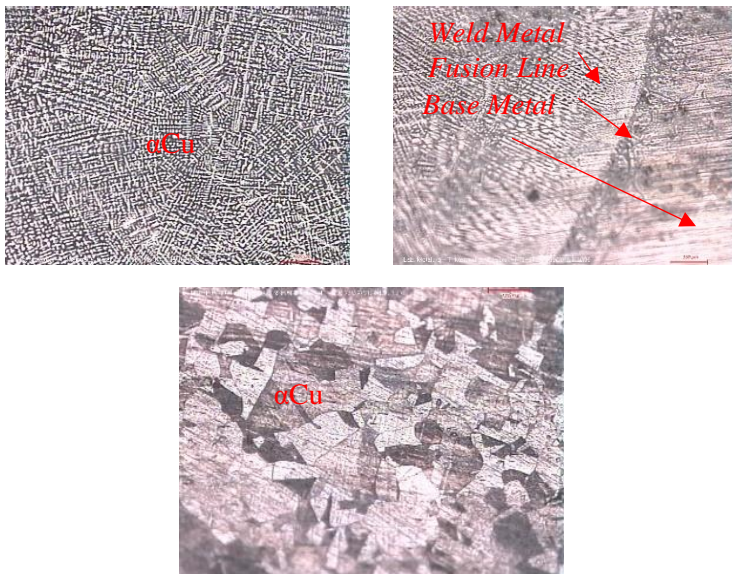
**Gambar 4.12 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC5 - FG8 Dengan Perbesaran 10x (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro menggunakan variasi pengelasan arus *pulsed current* 5 Hz *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit. Hasil pengamatan tersebut diambil dengan perbesaran 100 kali. Gambar 4.12 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *weld metal*, Gambar 4.12 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *fusion line*, dan Gambar 4.12 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *base metal*. Pada pengamatan struktur mikro ini, tidak tampak adanya bagian HAZ. Fasa yang terbentuk pada bagian *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan butir yang berbentuk dendritik, dimana bagian terang menunjukkan inti yang kaya akan Nikel dan bagian gelap merupakan bagian tepi butir yang kaya akan tembaga. Fasa yang terbentuk pada *base metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan bentuk butir polikristal.



**Gambar 4.13 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC5 - FG12 Dengan Perbesaran 10x (a) Weld Metal (b) Fusion Line (c) Base Metal**

Gambar 4.13 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dengan variasi pengelasan arus *pulsed current* 5 Hz, *flowrate* gas pelindung argon 12 L/menit dengan gambar perbesaran 100 kali. Gambar 4.13 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *weld metal*, Gambar 4.13 (b.) menunjukkan hasil pengamatan yang berada di bagian *fusion line*, dan Gambar 4.13 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di bagian *base metal*. Pada pengamatan ini tidak terlihat adanya bagian HAZ. Fasa yang terbentuk pada bagian *weld metal* adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan butir dendritik dengan bagian terang merupakan inti yang kaya akan Nikel sedangkan bagian gelap merupakan bagian yang kaya akan tembaga. Fasa yang terbentuk pada base metal juga merupakan fasa  $\alpha\text{Cu}$  yang berbentuk poligonal.



**Gambar 4.14 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 PC5 - FG16 Dengan Perbesaran 10x (a) *Weld Metal* (b) *Fusion Line* (c) *Base Metal***

Gambar 4.13 merupakan gambar hasil pengamatan struktur mikro yang menggunakan variasi pengelasan arus *pulsed current* 5 Hz *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit. Gambar yang diambil pada pengamatan struktur mikro ini menggunakan perbesaran gambar 100 kali. Gambar 4.14 (a.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *weld metal*, gambar 4.14 (b.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di bagian *fusion line*, dan Gambar 4.14 (c.) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *base metal*. Pada pengelasan dengan variasi ini tidak terbentuk adanya HAZ. Fasa yang terbentuk di bagian weld metal adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan butir yang berbentuk dendritik, dimana bagian terang merupakan bagian inti yang kaya akan Nikel, sedangkan bagian gelap merupakan bagian tepi butir yang kaya akan Tembaga. Pada





bagian *base metal*, fasa yang terbentuk adalah fasa tunggal  $\alpha\text{Cu}$  dengan butir yang berbentuk poligonal.

Gambar 4.6-4.14 (a.) merupakan hasil pengamatan struktur mikro pengelasan CuNi 90/10 yang berada di *weld metal*. fasa yang terbentuk adalah  $\alpha\text{Cu}$ , sesuai dengan hasil pengujian XRD. Pada ukuran butir *weld metal*  $\alpha\text{Cu}$  yang terbentuk berbentuk denritik dan yang terbentuk pada *base metal* berbentuk poligonal. Fasa  $\alpha\text{Cu}$  dendritik yang terdapat di bagian *weld metal* terbentuk karena setiap fasa yang terbentuk harus menyesuaikan komposisinya dengan migrasi atom, tetapi ketika mengalami peleburan saat fasa cair, terjadi difusi yang berlangsung relatif cepat, sehingga tidak ada kesempatan untuk meniadakan perbedaan komposisi melalui difusi, sehingga setiap butir  $\alpha\text{Cu}$  memiliki gradien komposisi terhadap inti yang kaya akan logam dengan titik leleh lebih tinggi yaitu Nikel, sedangkan bagian luar kaya akan logam dengan titik leleh lebih rendah yaitu tembaga. Larutan padat yang tidak merata ini disebut sebagai *cored* atau dendritik.

Gambar 4.6-4.14 (b.) adalah hasil pengamatan struktur mikro yang berada di *base metal*. Fasa yang terbentuk adalah  $\alpha\text{Cu}$  sesuai dengan pengujian XRD, dan terjadi pemerataan komposisi sehingga komposisi nikel dan tembaga merata disetiap butirnya. Sebenarnya, awal pembuatan pipa CuNi bentuk butirnya berbentuk dendritik, tetapi kemudian dilakukan pengerjaan panas yang disebut sebagai proses homogenisasi, yaitu proses dimana logam dipanaskan pada suhu tinggi (sekitar 700-800°C), kemudian ditahan pada temperatur tersebut sekitar 25 jam, yang bertujuan untuk memberikan kesempatan terjadinya difusi untuk membuat struktur lebih homogen. (W.Schelich, 2005)

Pada Gambar 4.6–Gambar 4.14 (c.) merupakan hasil pengamatan struktur mikro yang terdapat pada *fusion line*. Pada daerah ini berwarna gelap dikarenakan pertemuan pembekuan antara daerah *weld metal* dan *base metal*. Daerah *fusion line* pada hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Devletian, pada tahun 2006, yaitu tidak terdapat adanya HAZ. HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas sehingga pada



daerah tersebut mengalami perubahan struktur mikro sehingga dapat mengalami perubahan sifat mekanik. Tidak adanya daerah HAZ pada penelitian ini disebabkan karena CuNi 90/10 tidak banyak mengalami perubahan fasa saat pendinginan setelah proses pengelasan. Hal ini bisa dilihat pada diagram fasa CuNi 90/10 dimana fasa yang terdapat pada diagram tersebut hanya ada fasa cair dan padat berupa  $\alpha\text{Cu}$ . (Scheich, 2006).

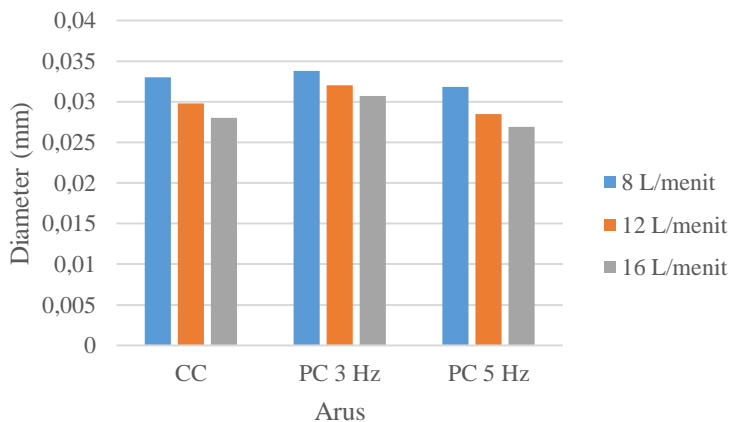
Dari hasil pengamatan struktur mikro dilihat bahwa semua fasa yang terbentuk adalah fasa  $\alpha\text{Cu}$ , hal ini disebabkan logam paduan CuNi adalah logam yang larut sempurna dimana tembaga dan nikel saling melarutkan satu sama lain, ditunjukkan diagram fasa Tembaga-Nikel yang merupakan salah satu diagram fasa dengan sistem binary isomorphus. Sistem binary isomorphus maksudnya adalah dua logam yang saling melarutpadatkan sempurna pada segala fasa, yaitu solid, liquid, dan gas seperti pada gambar 2.3 fasa yang terlihat dari diagram fasa CuNi, paduan CuNi merupakan isomorfus sehingga hanya memiliki satu fasa yaitu  $\alpha\text{CuNi}$ , sehingga penambahan Ni pada paduan CuNi tidak merubah fasa paduan, hanya memperluas daerah  $\alpha\text{CuNi}$  yang kaya akan Nikel seperti pada daerah *weld metal* yang memiliki Nikel lebih tinggi daripada di daerah base metalnya karena *filler* las yang digunakan adalah *filler* CuNi 70/30 yang memiliki kadar Ni lebih tinggi dibanding base metalnya, tetapi fasa terbentuk tetap berupa  $\alpha\text{CuNi}$ . Daerah *weld metal* memiliki perbedaan warna gelap dan terang berbentuk *dendritic*, bagian *fulldendritic* dengan inti dendrit kaya akan Ni yang berwarna terang sedangkan daerah *interdendritic* kaya akan Cu yang berwarna lebih gelap. Hal ini disebabkan karena unsur Ni yang memiliki titik *solidus* lebih daripada butiran yang terdapat di bagian base metal yang lebih tinggi sehingga membeku dan mengintir terlebih dahulu, diikuti titik lebur yang lebih rendah yaitu Cu, sehingga fasa  $\alpha\text{CuNi}$  yang ditengah merupakan daerah yang kaya akan nikel dan daerah yang mengelilinginya kaya akan tembaga (Devletian dan Sullivan, 2006).



Pada pengamatan struktur mikro terlihat bahwa Butir yang terbentuk pada pengelasan arus *continous current* masih terlihat kasar, pada pengelasan arus *pulsed current* 3 Hz mulai membentuk butiran halus, dan pada pengelasan arus *pulsed current* 5 Hz butir yang dihasilkan lebih halus lagi dibandingkan pada pengelasan *continous current*, dan *pulsed current* 3 Hz. Pada pengelasan ini, walaupun parameter heat input yang digunakan sama, tetapi menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini disebabkan karena salah satu faktor yang membentuk adalah *cooling rate* pada pengelasan. Semakin tinggi nilai dari frekuensi ketika pengelasan menggunakan arus *pulsed current*, *cooling rate* akan semakin tinggi. Semakin tinggi *cooling rate*, struktur mikro yang dihasilkan semakin halus. Arus *pulsed current* menghasilkan osilasi termal di *weld pool*, dan ketika frekuensi semakin tinggi, menambah rasio termal antara *peak current* dan *base current*, sehingga terjadi gap temperatur yang tinggi antara *weld metal* dan *base metal* dengan waktu yang cepat sehingga *cooling rate* semakin tinggi yang merangsang pertumbuhan butir baru, sehingga menghasilkan butir yang semakin halus (Kamal Pal, 2010). Hal ini dibuktikan dengan perhitungan butir untuk melihat seberapa banyak butir yang terdapat dalam luasan tertentu menggunakan metode Jeffries berdasarkan ASTM E-112. Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk memprediksi kekerasan spesimen berdasarkan ukuran butirnya, Hasil perhitungan dengan metode Jeffries atau Planimetric dapat dilihat pada Tabel 4.4. Ni adalah jumlah butir yang berada di dalam lingkaran, sedangkan Nict adalah jumlah butir yang terpotong oleh lingkaran.

**Tabel 4.4 Perhitungan Butir Metode Jeffries**

No.	Parameter		Jeffries Method ASTM 112				d (mm)
	Arus	Flowrate (L/min)	f	Ni	Nict	NA	
1	CC	8	8.0	97	31	900	0,0333
2		12	8.0	124	33	1124	0,0298
3		16	8.0	143	31	1268	0,028
4	PC 3 Hz	8	8.0	94	30	872	0,0338
5		12	8.0	106	32	976	0,032
6		16	8.0	115	35	1060	0,0307
7	PC 5 Hz	8	8.0	157	31	1380	0,0318
8		12	8.0	138	31	1228	0,0285
9		16	8.0	109	29	988	0,0269

**Gambar 4.15 Perbandingan Diameter Pada Weld Metal**





Dari Gambar 4.15 dapat dibandingkan pada *weld metal* di tiap spesimen, bahwa spesimen dengan parameter las arus *pulsed current* 5 Hz cenderung memiliki diameter butir yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan arus *constant current* 100 Ampere dan *pulsed current* 3 Hz, dan dari hasil pengamatan juga terlihat bahwa butiran yang terbentuk lebih halus daripada spesimen dengan arus *constant current* 100 Ampere dan *pulsed current* 3 Hz. Arus dengan *pulsed current* 5 Hz memiliki butir yang lebih halus disebabkan karena frekuensi yang semakin tinggi menyebabkan siklus temperatur yang terjadi ketika solidifikasi memberikan efek peleburan kembali dan menghambat pertumbuhan butir dendrit. Ditambah dengan turbulensi yang terjadi di *weld pool* menjadikan fragmen dendrit berada dibatas *solid-liquid interface*, menyebabkan fragmen tumbuh secara heterogen, yang memblokir pertumbuhan dendrit secara kontinu. Naiknya frekuensi juga menaikkan laju pendinginan sehingga struktur dendrit semakin halus (Suresh, 2004). Sehingga dapat diprediksi bahwa spesimen dengan variasi *pulsed current* 5 Hz memiliki kekerasan lebih baik daripada spesimen variasi lainnya.

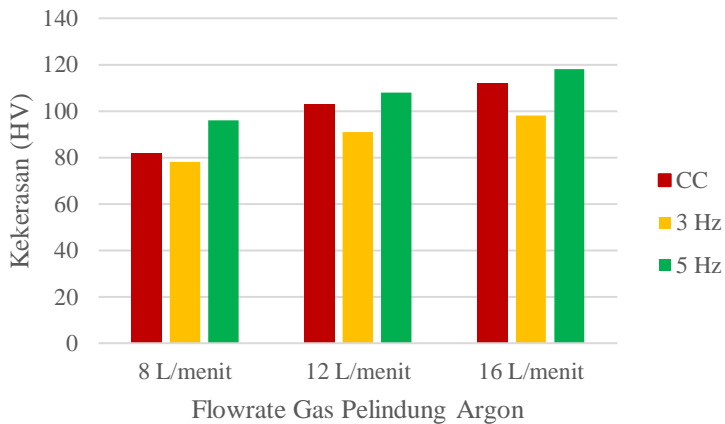
#### 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Vickers menggunakan alat mikro Vickers. Hal ini dilakukan karena melihat luasan daerah pada spesimen yang sempit sehingga jika dilakukan dengan mikrovickers mampu didapatkan data yang lebih akurat dengan mengambil daerah 0.5 mm dari *fusion line*. Pengambilan data dilakukan di 3 titik indentasi di daerah *weld metal* dan *base metal*. Untuk mengetahui distribusi kekerasan di tiap daerah indentasi dapat dilihat pada tabel 4.5.

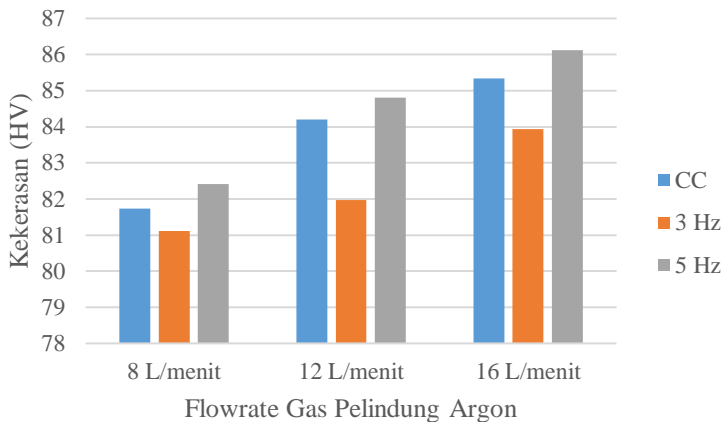


**Tabel 4.5 Hasil Pengujian kekerasan Cu Ni 90/10 dengan filler 70/30**

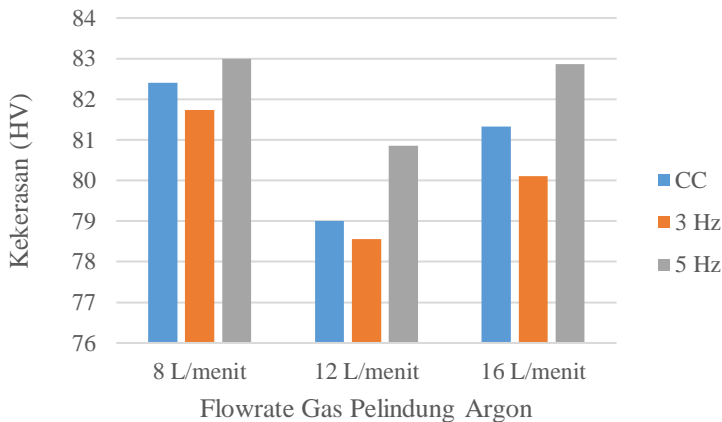
No	Parameter		Kekerasan Rata-rata (HV)		
	<i>Flow Rate</i>	<i>Arus</i>	<i>Weld Metal</i>	<i>Fusion Line</i>	<i>Base Metal</i>
1	8 L/min	CC	82	81,74	81,33
2		3 Hz	78	81,12	82,87
3		5 Hz	98	82,41	80,4
4	12 L/min	CC	103	84,2	79
5		3 Hz	91	81,97	78,56
6		5 Hz	108	84,8	80,86
7	16 L/min	CC	112	85,34	82,4
8		3 Hz	98	83,93	81,73
9		5 Hz	118	86,12	83



**Gambar 4.16 Nilai Kekerasan pada Daerah Weld Metal**



**Gambar 4.17 Nilai Kekerasan pada Daerah *Fusion Zone***



**Gambar 4.18 Nilai kekerasan Pada Daerah Base Metal**

Pada Gambar 4.16, dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya *flowrate* gas pelindung argon, nilai kekerasannya semakin meningkat, hal ini disebabkan karena semakin tinggi *flowrate* gas pelindung argon maka kestabilan dan intensitas



pembentukan plasma dan temperatur busur listrik (*arc*) yang dihasilkan semakin meningkat yang menyebabkan tingkat kekerasan meningkat. (Alfian, 2017). Gambar 4.17 menunjukkan perbandingan kekerasan pada daerah *fusion line* dimana seiring meningkatnya *flowrate* gas pelindung argon nilai kekerasan di *fusion line* semakin tinggi. Pada gambar 4.18 menunjukkan grafik perbandingan nilai kekerasan yang berada di *base metal*, dimana nilai kekerasan dari spesimen dengan *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit menuju ke 12 L/menit mengalami penurunan, dan meningkat lagi dari 12 L/menit menuju 16 L/menit.

Dari Gambar 4.16 juga dapat dilihat bahwa Nilai Kekerasan tertinggi yang berada di daerah *weld metal* dihasilkan pada pengelasan dengan *flowrate* gas pelindung argon 16L/menit dan arus *pulsed current* 5 Hz. Kemudian spesimen yang memiliki kekerasan terendah di daerah *weld metal* adalah pada pengelasan dengan *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit dan frekuensi arus *pulsed current* 3 Hz. Kekerasan bagian *weld metal* yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 sesuai dengan besar diameter butir yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15, dimana semakin kecil diameter butir pada mikrostruktur maka semakin tinggi pula kekerasan pada material tersebut. Hal ini dikarenakan semakin kecil diameter butir maka jumlah batas butir semakin meningkat, sehingga dislokasi sulit untuk bergerak dan material sulit untuk berdeformasi, membutuhkan energi yang tinggi untuk terjadi deformasi. (Eka Febriyanti, 2015).

Kekerasan yang dihasilkan di *weld metal* lebih tinggi daripada di *base metal*, karena jumlah Ni yang berada di *weld metal* lebih tinggi jika dibandingkan dengan Ni yang berada di *base metal*, karena penggunaan *filler* las dengan kandungan Ni yang lebih tinggi daripada Ni di *base metal*. Walaupun Ni yang berada di *weld metal* lebih tinggi, tetapi fasa yang terbentuk tetap berupa  $\alpha\text{CuNi}$ . Selain karena jumlah Ni yang lebih tinggi di *weld metal*, juga disebabkan oleh ukuran butir  $\alpha\text{Cu}$  yang berada di *weld metal* lebih kecil daripada  $\alpha\text{Cu}$  yang berada di *base metal*.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi arus dan *flowrate* gas pelindung argon dengan metode TIG adalah :

1. Struktur mikro yang dihasilkan pada masing-masing pengelasan adalah  $\alpha$ Cu. Pada bagian *weld metal* struktur mikronya berupa *full dendritic* sedangkan pada *base metal* berupa *polycrystalline  $\alpha$ -phase solid solution*. Pengelasan dengan menggunakan arus *pulsed current* menghasilkan struktur mikro yang semakin halus.
2. Semakin tinggi *flowrate* gas pelindung argon, maka nilai kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi. Pengelasan dengan variasi *pulsed current* menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan variasi *continous current*. Nilai kekerasan tertinggi ditunjukkan pada spesimen dengan variasi arus *pulsed current* 5 Hz dan *flowrate* gas pelindung argon 16 L/menit yaitu sebesar 118 HV

#### **5.2 Saran**

Saran dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan penelitian dengan perbandingan antara arus *pulsed current* berfrekuensi rendah dan arus *pulsed current* berfrekuensi tinggi.
2. Melakukan pengujian SEM EDX untuk melihat komposisi hasil lasan sehingga bisa mendukung data uji mekanik.

## DAFTAR PUSTAKA

- , 1992. **ASM Metals Handbook Volume 02 9th Edition**. ASM International.
- , 2000. **Welding Inspection Handbook Third Edition**. Le Jeune Road, Miami : AWS
- , 1996. **Welding Handbook Material and Applications Part 1**. Le Jeune Road Miami : AWS
- , 1972. **Welding Handbook Welding Technology Volume 1**. Le Jeune Road Miami : AWS
- BEM FEB UI. 2015. **Kebijakan Fiskal Dalam Menyokong Industri Galangan Nasional**. Depok : Universitas Indonesia
- Cakhravarthy. 2018. **Study of Microstructure and Mechanical Properties of 90% Cu 10% Ni Alloy Joints Using Laser Beam Welding**. India : International Journal of Mechanical and Producing Engineering
- Callister, W. D., 2007. **Material Science and Engineering**. 8th ed. United State: Wiley Inc.
- CDA, T. 3. P., 1986. **Materials For Seawater Pipeline System**. *Sciencedirect*
- DED. 2000. **Gas Tungsten Arc Welding Course**. Germany: German Development Sevice.
- Evehart, J. L., 1971. **Engineering properties of nickel and nickel alloy**. London: Plenum Press.
- Devletian, Jack H. Sullivan, Michael J. 2006. **Flux Cored Arc Welding of CuNi 90/10 Piping with CuNi 70/30 Filler Metal**. San Diego : Portland State University
- Eka Febriyanti. 2015. **Pengaruh Thermomechanical Controlled Processed (TMCP) Terhadap Penghalusan Butir Dan Sifat Mekanik Paduan Cu-Zn 70/30**. Depok : Universitas Indonesia
- Francis, R., 2006. **The Selecion of Materials for seawater cooling systems**.

- Hasbullah, Mansyur. 2016. **Strategi Penguatan Galangan Kapal Nasional Dalam Rangka Memperkuat Efektifitas dan Efisiensi Armada Pelayaran Domestik Nasional 2030**. Gowa : Universitas Hasanuddin. Gowa : Universitas Hasanuddin
- Heinz Gunther. 2012. **Ullman's Encyclopedia Of Industrial Chemistry**. Frankfurt : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Ir. Imam Pujo M. 2008. **Analisis Kekuatan Sambungan Las GTAW Pada Marine Plate ST 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan Incomplete Penetration**. Semarang : Universitas Diponegoro
- Kamal, Ahmad Aufa. 2014. **Analisa Variasi Pengaruh Besar Aliran Gas Pelindung Pengelasan MIG Terhadap Cacat Porositas Dan Struktur Mikro Pada Aluminium 1100**. Jember : Universitas Jember
- Kementerian Perindustrian. **Kapasitas Galangan Kapal Melampaui Target. 2017**. <<http://www.kemenperin.go.id/artikel/2908/Galangan-Kapal-Tumbuh>>
- Kurniawan, Candra. 2011. **Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Free-Software Image-J**. Serpong : Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Konecna, R., 2012. **Copper and Copper Alloys: Casting Classification and characteristic microstructure**. Slovak Republic: Intechopen.
- Lee, 1991. **Composition Variations in Copper-nickel Butt Welds**. National Association Corrosion Engineers
- Messler, Robert W. 1999. **Principle of Welding : Process, Physics, Chemistry and Metallurgy**. New Jersey : John Wiley and Sons
- Munasir, 2012. **Uji XRD dan XRF Pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai sumber material cerdas (CaCO<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub>)**. Surabaya: s.n.
- Musaikan. 1997. **Teknologi Pengelasan**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember



- M.V Suresh. 2004. **Effect of Pulsed Frequency in Gas Tungsten Arc Welding of Powder Metallurgical Preforms**. Science and Technology of Welding and Joining. Pages 362-368
- N. Karunakaran. 2010. **Effect of Pulsed on Temperature Distribution, Weld Bead Profiles, and Characteristics of Gas Tungsten Arc Welded Aluminium Alloy Joints**. Annamalai : Annamalai University
- Pal, Kamal. 2009. **Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding**. ASM International
- Peter W Muncaster. 1991. **Practical TIG Welding**. Cambridge : Abbingdon
- Pires, J.Noberto dkk. 2006. **Welding Robot-Technology, System, Issues and Application**. London. British Library Cataloguing
- Prasetya, Alfian Wahyu. 2017. **Pengaruh Debit Gas Pelindung dan Tegangan Listrik Terhadap Tingkat Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW pada Baja Karbon Sedang EMS-45**. Semarang : Universitas Negeri Semarang
- R.E Smallman. 2000. **Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material**. Jakarta : Erlangga
- Rogers, M.S. 2003. **Welding Inspection Defects/Repairs Course Conference**. London : The Welding Institute
- Rhines, N. F., 1956. **Phase Diagram in Metallurgy Their Development and Application**. s.l.:McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.
- Sanuri Ibnu Prasetyo. 2016. **Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Laju Alir Gas Pelindung Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik-Geser Sambungan Las TIG Logam Tak Sejenis Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis Dengan Filler Al-Si 4043**. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Sahlan. 2015. **Analisis Cacat Las Incomplete Fusion dan Retak Memanjang pada Waterwall Tube Boiler PLTU Paiton Unit 1**

- Wilhelm Scheich.2005. **Application of Copper-Nickel Alloy UNS C70600 For Seawater Service**. KM Europa Metal AG : Germany
- Wirjosumartono, Harsono, dan Okumura. T.2000. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta : Pradnya
- V. Balasubmarian. 2006. **Effect of Pulsed Current Welding on Mechanical Properties of High Strength Aluminium Alloy**. London : Springer

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **LAMPIRAN**

# Lampiran 1

## Data Uji Material

PROJECT NAME : TUGAS AKHIR

CLIENT : WAHYU HIDAYAT NURDIANSYAH

OBJECT : PIPE SPECIMENT

Reference : -

LOCATION AREA : Surabaya

SYSTEM : -

DRAWING NO. : -

LINE NO : -

PMI Report No : 001-PMI/RBT/II/18

PMI Date : 14/3/2018

Material No. : 1

MATERIALS : PIPE

DIA (Inch) : 4

THK (mm) : 2

HEAD No. : -

Taking

Weld/Shell

Mn : -

Fe : -

Co : -

Ni : -

Cu : -

Zn : -

Zr : -

Pb : -

INSPECTION R

Base Metal

Spec

Actual

0.58

1.11

0.07

10.11

86.32

1.69

0.06

0.01

Result

REN

Standard Reference Range

CDA706 90-10

EN10101 1.4 304/304L 0.1

CS 1.4 304/304L 0.05

El	Min	%	Max	%
Mn	0.02	0.02	1.00	0.02
Fe	1.00	0.02	1.00	0.02
Co	0.00	0.07	0.00	0.02
Ni	9.00	0.02	11.00	0.02
Cu	0.00	0.02	0.00	0.02
Zr	0.00	0.02	0.00	0.02
Pb	0.00	0.02	0.00	0.02

Inspected By

Reviewed By

Witnessed and Accepted By

ROBUTECH

Ryoanto Dwi Saputro

NK 1401021

**Lampiran 2**  
**Foto Proses Pengelasan**



### Lampiran 3

#### Perhitungan Jeffries

Perhitungan Planimetric atau metode Jeffries menggunakan rumus dibawah ini :

$$N_A = f \left( N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right)$$

Dimana :

$N_A$  = Jumlah butir per millimeter persegi

$f$  = Faktor Jeffries, didapatkan dari  $f = 0.0002M^2$

$M$  = Perbesaran

$N_{\text{Inside}}$  = Jumlah butir yang secara keseluruhan didalam lingkaran uji

$N_{\text{Intercepted}}$  = Jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran uji

Nilai  $M$  merupakan perbesaran skala gambar dimana pada gambar tertera skala  $100\mu\text{m}$ . Maka nilai  $M$  adalah

$$M = \begin{array}{lcl} \text{Skala Gambar} & : & \text{Skala Sesungguhnya} \\ 2 \text{ cm} & : & 100\mu\text{m} \\ 2 \times 10^4 \mu\text{m} & : & 100\mu\text{m} \\ 2 \times 10^2 & : & 1 \end{array}$$

$M = 200$  , maka nilai  $f = 0.0002M^2 = 8.00$

Maka perhitungan Jeffries untuk arus PC 5 HZ dan *flowrate* gas pelindung argon 8 L/menit adalah :

$$N_A = f \left( N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right)$$

$$N_A = 8.00 \left( 157 + \frac{331}{2} \right)$$

$$N_A = 1380$$

Dengan cara yang sama, maka dapat dihitung jumlah butir keseluruhan spesimen sehingga didapatkan jumlah butir seperti pada tabel berikut :

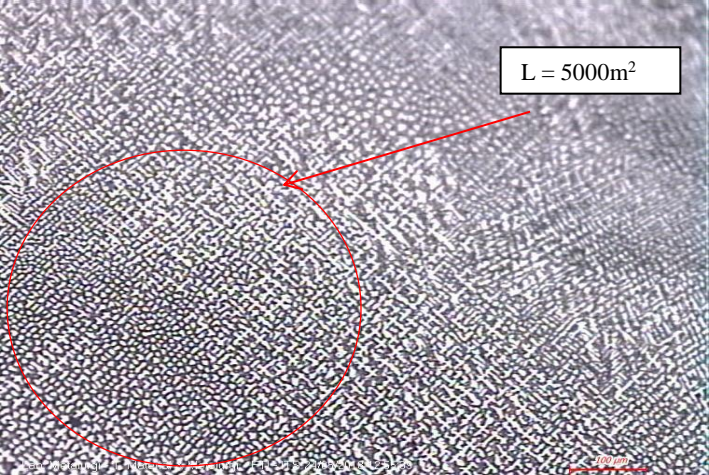
Tabel Perhitungan Jeffris

No ·	Parameter		Jeffries Method ASTM 112				d (mm)
	Arus	<i>Flowrate</i> (L/min)	f	Ni	Nict	NA	
1	CC	8	8.0	97	31	900	0,033 3
2		12	8.0	12 4	33	1124	0,029 8
3		16	8.0	14 3	31	1268	0,028
4	PC 3 Hz	8	8.0	94	30	872	0,033 8
5		12	8.0	10 6	32	976	0,032
6		16	8.0	11 5	35	1060	0,030 7
7	PC 5 Hz	8	8.0	15 7	31	1380	0,031 8
8		12	8.0	13 8	31	1228	0,028 5



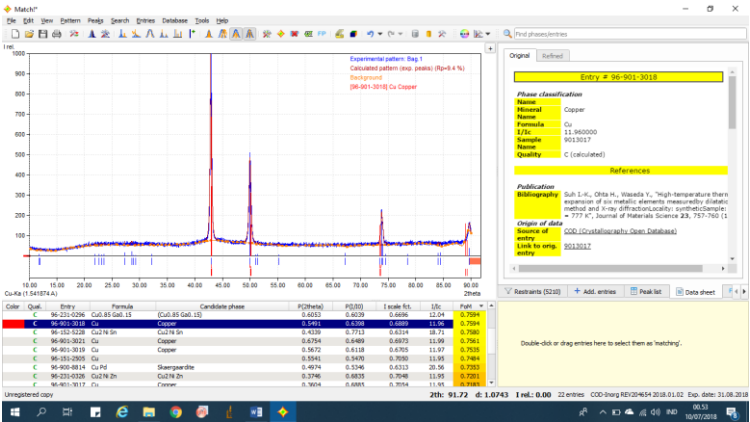
9	16	8.0	10 9	29	988	0,026 9
---	----	-----	---------	----	-----	------------

Perhitungan Jeffries sesuai dengan ASTM E1112

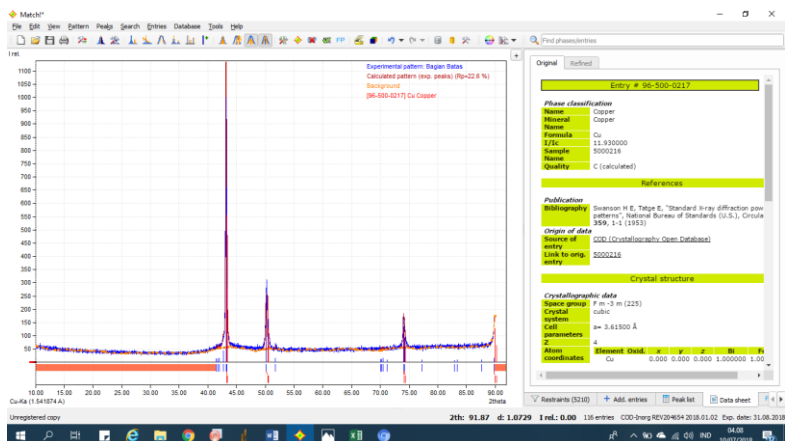
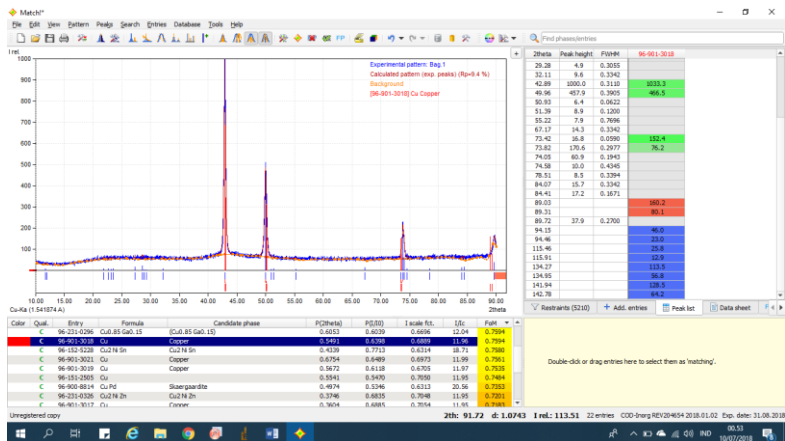


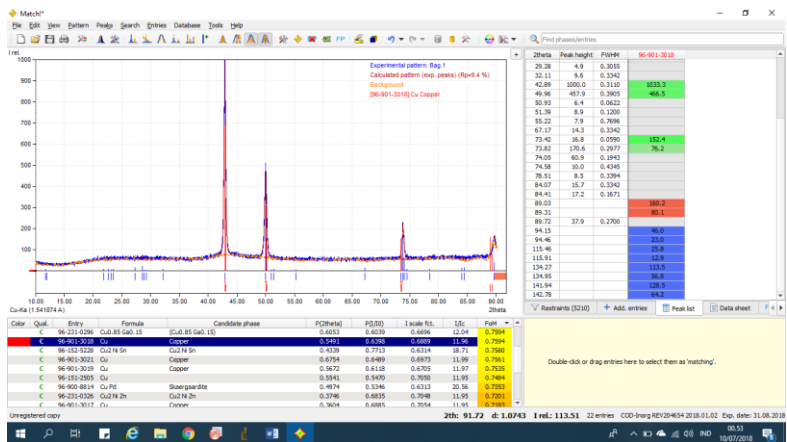
## LAMPIRAN 4

### Hasil XRD

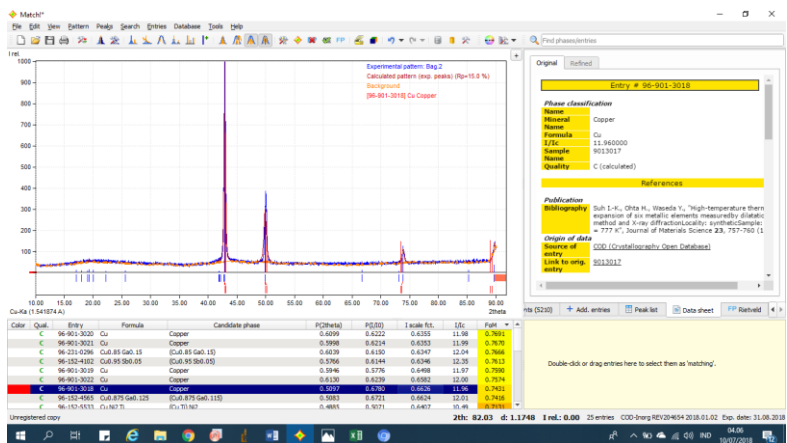


Gambar Weld Metal Data Sheet





Gambar Fusion Line Peak List



Gambar Base Metal Data Sheet



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Temanggung pada tanggal 31 Juli 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Kadaryono dan Sukini. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari SDN 1 Jampiroso, SMPN 2 Temanggung dan SMAN 1 Yogyakarta. Saat ini penulis tengah menyelesaikan studi sarjananya di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 2714100074. Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang Manufaktur, pada Laboratorium Metalurgi dengan judul tugas akhir **“Pengaruh Variasi Arus *Continuous Current*, *Pulsed Current*, dan *Flowrate Gas Pelindung Argon* Pada Pengelasan CuNi 90/10 Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Dengan Metode *Tungsten Inert Gas (TIG)*”**. Penulis aktif mengikuti organisasi di BEM FTI ITS sebagai Staff Departemen Pendidikan, Keilmiahan, dan Teknologi BEM FTI – ITS, DPM FTI-ITS, Staff Departemen Kewirausahaan LDJ Ash-Haabul Kahfi, , Kepanitiaan Cakrawala Ilmiah BEM FTI ITS, dan KPU HMMT FTI-ITS. Penulis melakukan kerja praktek di PT Pembangunan Jawa Bali (PT.PJB). Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi adalah 0857250070188 dengan alamat email psurya.binathara@gmail.com.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*